

ΜΟΡΦΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΑΣ*

Τὸ πρόβλημα τῆς αἰτιοκρατίας εἶναι ἓνα ἀπὸ τὰ κεντρικὰ προβλήματα τῆς φιλοσοφίας, ἀλλὰ καὶ τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν. Στὸ κείμενο ποῦ ἀκολουθεῖ ἐπιχειρεῖται μιὰ γενικὴ φιλοσοφικὴ θεώρηση τοῦ προβλήματος.

Ἡ ἰδέα ὅτι ὑπάρχουν αἰτίες στὴ φύση, ὅτι κάθε φαινόμενο εἶναι ἀποτέλεσμα ὀρισμένων αἰτίων (αἰτιότητα) καὶ ὅτι τὰ φαινόμενα καθορίζονται μὲ ὀρισμένο τρόπο ἀπὸ τὶς αἰτίες (αἰτιοκρατία) γεννήθηκε μέσα ἀπὸ τὴ θεωρητηκοποίηση τῆς πρακτικῆς. Ὁ ἀνιμισμός, τὰ ἀνθρωπόμορφα ὄντα-δημιουργήματα τῆς ἀνθρώπινης φαντασίας - τὰ θαύματα, ἡ Μοίρα, κλπ., δὲν εἶναι παρὰ ἀνεστραμμένες ἀπεικονίσεις τῶν σχέσεων τῶν ἀνθρώπων με τὴ φύση καὶ μὲ τὸν ἴδιο τὸν ἑαυτό τους.

Ἡ ἱστορία τῆς φιλοσοφίας σημαδεύεται ἀπὸ δύο ἀντίθετες ἀντιλήψεις γιὰ τοὺς φυσικοὺς νόμους καὶ τὴν αἰτιοκρατία: 1) Τὴν τυπικὴ ἄποψη, ποῦ θεωρεῖ τοὺς νόμους συμβάσεις, βολικὲς σχέσεις ποῦ δὲν διαθέτουν τὸ ἀντίστοιχό τους στὴ φύση. Ἡ ἀντίληψη αὐτὴ χαρακτηρίζει τὸ ἀγνωστικιστικὸ καὶ τὸ θετικιστικὸ ρεῦμα. 2) Τὴν ἀντίληψη κατὰ τὴν ὁποία ὁ νόμος εἶναι μιὰ ἐσωτερικὴ, ἀναγκαία καὶ γενετικὴ σχέση ἀνάμεσα στὰ φαινόμενα. Πρόκειται γιὰ τὴν ἀντίληψη τοῦ ἀρχαίου καὶ τοῦ νεώτερου ὕλισμοῦ, τοῦ Χέγκελ καὶ τοῦ διαλεκτικοῦ ὕλισμοῦ. Ἐπίσης τὸ ρεαλιστικὸ ρεῦμα τῆς σύγχρονης ἐπιστημολογίας δέχεται, κατ' ἀρχὴν, αὐτὴ τὴ θέση. Θὰ ἀναλύσουμε στὴ συνέχεια τὶς μορφὲς φυσικῆς αἰτιοκρατίας καὶ τὸν καταστατικὸ ὀρισμὸ τοῦ φυσικοῦ νόμου.

2. Θετικισμὸς καὶ ὕλισμὸς: δύο ἀντίθετες θέσεις.

Ἡ αἰτιότητα καὶ ἡ αἰτιοκρατία ταυτίζονται συχνά. Ὡστόσο οἱ δύο κατηγορίες εἶναι διαφορητικές. Ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας βεβαιώνει ὅτι ὑπάρχουν αἰτίες τῶν φαινομένων. Κατὰ τὴν ἀρχὴ τῆς αἰτιοκρατίας, τὰ φαινόμενα καθορίζονται ἀπὸ τὶς αἰτίες καὶ οἱ διάφορες μορφὲς αἰτιοκρατίας ἐκφράζουν τὶς διάφορες μορφὲς μὲ τὶς ὁποῖες πραγματοποιεῖται αὐτὸς ὁ καθορισμός. Ὁ νόμος ἀποτελεῖ τὴν τυποποιημένη ἐκφραση τῶν σχέσεων ἀνάμεσα στὴν αἰτία καὶ στὸ ἀποτέλεσμα.

*Τὸ γαλλικὸ πρωτότυπο θα δημοσιευθεῖ σε συλλογικὸ διεθνή τόμο γιὰ τὶς σχέσεις τοῦ μαρξισμοῦ με τὶς ἐπιστῆμες.

Σύμφωνα με το ρεαλιστικό και το υλιστικό ρεύμα, η αιτιακή σχέση είναι αντικειμενική: μιὰ σχέση έσωτερική, αναγκαία και γενετική. "Έτσι οι κατηγορίες τῆς αίτιας, τῆς αίτιότητας, τῆς αίτιοκρατίας και τοῦ νόμου, έχουν όντολογικό status: εκφράζουν αντικειμενικές σχέσεις οι όποιες λειτουργούν στη φύση και όχι μόνο σχέσεις ανάμεσα στις "ιδέες", στις «άντιλήψεις» μας (έμπειρισμός) ἢ προεμπειρικές κατηγορίες τῆς νόησης (Κάντ).

Όστόσο ο διαλεκτικός υλισμός δέν δέχεται τήν άπλοϊκή θέση, κατά τήν όποία ο νόμος (και γενικότερα ἡ έννοια) είναι μιὰ μηχανική άντανάκλαση τῆς πραγματικότητας. Οι νόμοι, κατά τόν Λένιν, είναι αντικειμενικοί ώς πρὸς τήν πηγή τους, αλλά ἡ μορφή τους είναι ύποκειμενική. "Έννοιες και νόμοι είναι προϊόντα τῆς ιστορίας. Τόσο ἡ μορφή όσο και τὸ περιεχόμενό τους καθορίζονται ιστορικά. Ἡ έννοια, γράφει ο Λένιν, είναι ένας άπό τούς βαθμούς τῆς γνώσης τῆς ένότητας και τῆς σύνδεσης, τῆς ἀλληλεξάρτησης και τῆς ολότητας τοῦ παγκόσμιου γίνεσθαι. Είναι ἡ άντανάκλαση τοῦ οὔσιαστικοῦ κατά τήν κίνηση. Κατά τόν Λένιν τὸ φαινόμενο είναι πλουσιότερο άπό τὸ νόμο, πὸν άποτελεῖ μιὰ προσεγγιστική αναπαράστασή του. "Έτσι ο διαλεκτικός υλισμός μπορεί νά διακηρύσσει ὅτι υπάρχουν νόμοι στη φύση, ὅτι κάθε φαινόμενο καθορίζεται άπό τίς αίτίες του, κ.λ.π., χωρίς μ' αὐτό νά πέφτει σέ κάποιο εἶδος μηχανιστικῆς όντολογίας. "Ο "Έγκελς και ο Λένιν ἐξάλλου είχαν θεωρήσει τήν ἀλληλεπίδραση σάν θεμελιώδη κατηγορία, σάν «τὴν πραγματικὴ *causa finalis* τῶν πραγμάτων». Ἡ αίτία και τὸ άποτέλεσμα άποτελοῦν στιγμές τῆς ἀλληλεπίδρασης, τῆς ἀλληλοσύνδεσης τῶν γεγονότων. Ἡ ἐξέλιξη τῆς φυσικῆς, και εὐρύτερα τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν, ἐσυγκεκριμενοποίησε τὸ πλούσιο περιεχόμενο αὐτῆς τῆς άποψης¹.

"Ο "Έγκελς ἔγραφε ὅτι «για ὅποιον άρνεῖται τήν αίτιότητα, ο κάθε φυσικός νόμος είναι μιὰ ὑπόθεση». Είναι γνωστό ὅτι ἡ συμβατικὴ αὐτὴ αντίληψη για τήν αίτιότητα, τήν αίτιοκρατία και τούς φυσικούς νόμους, χρονολογεῖται τουλάχιστον άπό τήν ἐποχὴ τοῦ Νταϊήβιντ Χιούμ.

Σύμφωνα με τόν πατέρα τοῦ άγνωστικισμοῦ, δέν ὑπάρχει ἐνδογενῆς άναγκαιότητα. Δέν ὑπάρχει παρά μιὰ φυσικὴ τάξη ανάμεσα σέ δύο συμβάντα. "Ένας αιτιακός νόμος περιγράφει μιὰ κανονικότητα που παρατηρεῖται στη φύση: τίποτα περισσότερο. Δέν έχει νόημα, ἔγραφε ο Χιούμ, νά ὀρίσουμε μιὰ αίτία λέγοντας ὅτι κάποιο πρᾶγμα παράγει κάτι άλλο. «Γιατί, τί σημαίνει παραγωγή;» "Ο Χιούμ θέλησε νά ἀποκαθάρει τὴ φιλοσοφία (και τίς ἐπιστῆμες) άπό τὴ μεταφυσική. Ἄλλά ο έμπειρισμός του ἦταν άνίκανος νά συλλάβει τὸ δυναμικό χαρακτήρα τῆς γνώσης².

1. Βλ. Engels. 1) *Dialectique de la Nature*, Ed. Sociales, 1952. 2) *Anti-Dühring*, Ed. Sociales, 1971. Λένιν: 1) *Matérialisme et Empiriocritisme*, Ed. Sociales, 1955. 2) *Cahiers Philosophiques*, Ed. Sociales, 1962.

2. D. Hume. 1) *A Treatise of Human Nature*, Oxford, Clarendon Press, 1960. 2) *Enquiry Concerning Human Understanding*, Oxford, Clarendon Press, 1936.

Ὁ θετικισμὸς τοῦ αἰῶνα μας ἐγκατέλειψε τὸν Κάντ, γιὰ νὰ ἐπιστρέψει στὸν «συνεπῆ» ὑποκειμενισμὸ τοῦ Χιούμ. Δὲν ὑπάρχει αἰτία καὶ ἀποτέλεσμα στὴ φύση, διακήρυσσε ὁ Ε. Μάχ, δὲν ὑπάρχει φυσικὴ ἀναγκαιότητα, π.χ., ἄλλη ἀπὸ τὴ λογικὴ ἀναγκαιότητα. Ὁ διάσημος φυσικὸς ἦταν σαφής: «Τοποθετοῦματσε ἀπὸ τὴν πλευρὰ τοῦ Χιούμ». Καὶ ὁ Πουανκαρέ ἰσχυριζόταν, ἀπὸ τὴν πλευρὰ του, ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἀρμονία τοῦ κόσμου εἶναι ἡ μόνη ἀντικειμενικὴ πραγματικότητα. Ὁ μεγάλος μαθηματικὸς ἦταν ἓνας ἀπὸ τοὺς περισσότερο ἐξέχοντες ἀντιπροσώπους τοῦ συμβατισμοῦ.

Τὰ διάφορα ρεύματα τοῦ σύγχρονου θετικισμοῦ ἀνέπτυξαν μὲ τὴ σειρά τους, ἀλλὰ στὴ γλώσσα τῆς «λογικῆς», τίς θεμελειώδεις θέσεις τοῦ ἐμπειρισμοῦ. Οἱ μεταφυσικὲς προτάσεις, ἔγραφε ὁ Κάρναπ, δὲν εἶναι οὔτε ἀληθεῖς οὔτε ψευδεῖς, γιὰτὶ βρίσκονται ὀλοκληρωτικὰ ἔξω ἀπὸ τὴ γνωστικὴ περιοχὴ. Οἱ φιλοσοφικὲς - ἄρα, κατ' αὐτόν, μεταφυσικὲς - προτάσεις, στεροῦνται νοήματος. Τὸ ἀντικείμενο τῆς φιλοσοφίας τῆς φύσης, κατὰ τὸν Κάρναπ, δὲν εἶναι οἱ φυσικὲς ἐπιστῆμες. Τὸ ἔργο τῆς συνίσταται στὴ λογικὴ ἀνάλυση τῆς γλώσσας. Ὁ Χιούμ εἶχε δίκιο, κατὰ τὸν Κάρναπ, ὅταν δὲν ἔβλεπε καμιὰ ἐνδογενὴ ἀναγκαιότητα στὴν αἰτιακὴ σχέση. Ἡ ἔννοια τῆς ἀναγκαιότητας θὰ μπορούσε νὰ εἰσαχθεῖ, «μὲ τὴν προϋπόθεση ὅτι ἡ χρῆση τῆς δὲν ὑπερβαίνει τὰ ὄρια τῆς τροπικῆς λογικῆς καὶ δὲν τῆς ἀποδίδεται κάποιο μεταφυσικὸ νόημα». Ἔννοιες ὅπως ἡ σχέση ἀνάμεσα στὴν αἰτία καὶ τὸ ἀποτέλεσμα δὲν ἀφοροῦν παρὰ γλωσσικὲς μορφές. Ἡ αἰτιακὴ σχέση σημαίνει ἀπλῶς, προβλεψιμότητα. Ἡ ὑπαρξὴ πιθανοκρατικῶν νόμων, ἰδιαίτερα, σημαίνει τὴν κατάρρευση τῆς αἰτιοκρατικῆς θέσης. Ἀπὸ τὴν πλευρὰ του ὁ Βινγκενστάιν ἰσχυριζόταν ὅτι «ἡ πίστη στὸν αἰτιακὸ *nexus* ἀποτελεῖ δεισιδαιμονία» καὶ ὅτι ὁ νόμος τῆς αἰτιότητας δὲν εἶναι νόμος, ἀλλὰ «μορφὴ νόμου»¹.

Ἰπῆρξαν καὶ ἄλλα ρεύματα στὴ φιλοσοφία τοῦ αἰῶνα μας, τὰ ὅποια ἀρνήθηκαν τὸ ὄντικὸ status τῆς αἰτιοκρατίας καὶ τῶν φυσικῶν νόμων. Ἔτσι, π.χ. ὁ Κάσσιρερ θεωροῦσε, ἀπὸ μιὰ νεοκαντιανὴ ἀποψη, ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι δὲν ἀφοροῦν τὰ πράγματα, ἀλλὰ τὴν ἐμπειρία, τὴ γνώση μας. Ἡ ἀρχέγονη πλάνη τοῦ αἰτιακοῦ προβλήματος συνολικά, ἔγραφε, βρίσκεται στὸ γεγονός ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι θεωροῦνται σὰν ἓνα εἶδος πραγματικότητας. Ἡ αἰτιακὴ σχέση ἔπρεπε νὰ ἐρμηνεύεται, κατὰ τὸν Κάσσιρερ, μὲ κριτικὴ καὶ ὄχι μὲ μεταφυσικὴ ἔννοια. Ὁ ἀγνωστικισμὸς ἦταν τὸ ὑπόβαθρο τῆς σκέψης αὐτοῦ τοῦ διανοητῆ: «*Ignorabimus*: εἶναι ἡ μόνη ἀπάντηση πού ἡ ἐπιστῆμη μπορεῖ νὰ δώσει στὸ ἐρώτημα γιὰ τὴν οὐσία καὶ τὴν προέλευση τῆς συνειδησης»².

1. Βλ. Ε. Mach. 1) *Mécanique*, Herman, Paris 1904. 2) *The Analysis of Sensations*, Dover. R. Carnap. 1) *Philosophy and Logical Syntax*, Edition bilingue, Egnatia, Crèce. 2) *Les fondements philosophiques de la physique*, A. Colin, Paris 1973. L. Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*, Routledge and Kegan Paul, 1961.

2. E. Cassirer, *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*, Yale Univ. Press, 1965.

Οι αντίληψεις του θετικισμού - έμπειρισμού βρήκαν γόνιμο έδαφος στην περιοχή τής μικροφυσικής. Ο πιθανοκρατικός χαρακτήρας τών νόμων της ύπληξε τó άφetterιακό σημείο ένός αντιρεαλιστικού και αντίαιτιοκρατικού ρεύματος, τó όποιο άναπτύχθηκε κυρίως κατά τή δεκαετία του τριάντα και τó όποιο δέν έχασε άκόμα τó άκροατήριό του. Οι πιο μετριοπαθείς προσωπικότητες αύτου τού ρεύματος (Μπώρ, φόν Νούμαν) άρκέστηκαν στη διακήρυξη ότι ή αίτιοκρατία δέν ισχύει πλέον στη μικροφυσική. "Άλλοι μίλησαν για έλευθερη έκλογή από την πλευρά τών μικροσωματίων (Χάιζεμπεργκ, Τζόρνταν, Ντιράκ, κλπ.) και άλλοι, όπως ó "Εντιγκτον, ó Τζήνς, κλπ., είδαν στους νόμους τής μικροφυσικής τή συμφιλίωση τής έπιστήμης με την πίστη. Ο Μουνιέ και ó Σαρντέν, τέλος, είδαν στην «έσωτερική έλευθερία» τού ήλεκτρονίου, την πιο έσωτερη δομή τής ανθρώπινης έλευθερίας¹.

"Ετσι οι ιδιομορφίες τής φυσικής, άνάμεικτες με έμπειρικές, ιδεαλιστικές και πνευματοκρατικές προκαταλήψεις, παρήγαγαν μιá τεράστια φιλολογία τής όποίας κοινός παρονομαστής ήταν ή αντίαιτιοκρατία. "Επίσης οι πολιτικές προκαταλήψεις έπαιξαν συχνά ούσιαστικό ρόλο².

Κατά τόν Λένιν, ή σύγκριση τών διαφόρων τρόπων με τούς όποιους κατανόηθηκε ή αίτιότητα στην ιστορία τής νόησης, θά έδινε μιá θεωρία τής γνώσης άναμφισβήτητα άποδεικτική³. Θά έπιχειρήσουμε στη συνέχεια νά αναλύσουμε αύτους τούς «διάφορους τρόπους».

2. Η μηχανιστική αίτιοκρατία και τά όριά της.

Η μηχανιστική (ή λαπλασιανή) αίτιοκρατία, συνιστά μιá από τις κύριες όψεις τής μηχανιστικής αντίληψης. Η διαμόρφωση αύτής τής αντίληψης συνδέεται με την ανάπτυξη τών έπιστημών - και κυρίως τής Μηχανικής - κατά τó 17ο και στους έπόμενους αιώνες. Η αντίληψη αύτή συνεπώς συνδέεται ένδογενώς με την ανάπτυξη τού κεφαλαιοκρατικού τρόπου παραγωγής, έπειδή, τόσο ó μηχανιστικός ύλισμός (Γαλιλαϊός, Λαπλάς, κλπ.) όσο και ó μηχανιστικός ιδεαλισμός (Καρτέσιος, Νεύτων, κλπ.) είναι συγκεκριμένες πραγματώ-

1. Η βιβλιογραφία για αύτό τó θέμα πρακτικά άνεξάντλητη. Για μιá κριτική άνάλυση, βλ. Ε. Bitsakis, *Physique et Matérialisme*, Ed. Sooiats, 1983.

2. Ο S. Hook, π.χ., γράφει για τις αίτιες που προσδιορίζουν την αντίαιτιοκρατική θέση στις φυσικές έπιστήμες: «Η πρώτη είναι πολιτική και κοινωνική. Ένώ στο παρελθόν ή έπέκταση τής αίτιοκρατικής φιλοσοφίας στις φυσικές έπιστήμες είχε χαρακτηριστεί σαν θεμέλιο τής δύναμης τού ανθρώπου νά έλέγξει τή φύση, σήμερα πολλοί φοβούνται την αίτιοκρατία στις έπιστήμες και στις κοινωνικές ύποθέσεις, έπειδή αύξάνει τή δύναμη όρισμένων ανθρώπων νά έλέγχουν τούς άλλους». "Ετσι οι άνθρωποι αύτοι είναι «έναντίον τής σχεδιοποίησης» κλπ., (S. Hook, Είσαγωγή στά *Πεπραγμένα* τού συνεδρίου *Determinism and Freedom*, N. Y. Univ. Press, 1958). Βλ. έπίσης την εισηγήση τού B. Blanchard στην ίδια συλλογή.

3. Lénine, *Cahiers Philosophiques*, ό.π., σ. 333.

σεις τῆς ἀστικῆς ἰδεολογίας. Μποροῦμε εἰδικότερα νὰ ἰσχυρισθοῦμε ὅτι ἡ μηχανιστικὴ αίτιοκρατία εἶναι ἡ κατ' ἐξοχὴν ἀστικὴ ἀντίληψη γιὰ τὴν αίτιοκρατία.

Κατὰ τὴν κλασικὴ μηχανικὴ, οἱ τιμὲς τῶν παραμέτρων οἱ ὁποῖες χαρακτηρίζουν τὴν κατάστασιν ἑνὸς φυσικοῦ συστήματος καθορίζονται, γιὰ ὅποιαδήποτε χρονικὴ στιγμή, ἀπὸ τὴ γνώση τῶν τιμῶν τους σὲ μιὰ δεδομένη ἀρχικὴ στιγμή. Ἡ κίνηση τοῦ συστήματος καθορίζεται αὐστηρὰ ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ του κατάστασιν καὶ τὶς φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις. Ἔτσι ἡ πιθανότητα πρόβλεψης τῆς κατάστασός του, σὲ ὅποιαδήποτε χρονικὴ στιγμή, εἶναι ἴση μὲ τὴ μονάδα. Ἡ βεβαιότητα αὐτὴ βρισκόταν στὴ βάση δύο ἄλλων «βεβαιότητων» τῆς φιλοσοφίας: 1) Τῆς φιλοσοφικῆς «πίστης» ὅτι ἡ φύσιν σέβεται τὴν ἀρχὴ τοῦ καθορισμοῦ (τοῦ ἀποτελέσματος ἀπὸ τὴν αίτια). 2) Τῆς γνωσιολογικῆς αἰσιοδοξίας ἀναφορικὰ μὲ τὴ δυνατότητα τοῦ ἀνθρώπου νὰ γνωρίσει τοὺς νόμους τῆς φύσης. Ταυτόχρονα, ἡ γενίκευσιν τοῦ μηχανιστικοῦ προτύπου γιὰ ὀλόκληρὴ τὴ φύσιν, γέννησε τὴ στατικὴ καὶ στενὴ ἀντίληψη ποὺ χαρακτηρίζει τὸν ἀστικὸ ὕλισμό, καθὼς καὶ τὴν πνευματοκρατία τῆς περιόδου ὅπου ὁ κεφαλαιοκρατικὸς τρόπος παραγωγῆς γινόταν ὄλο καὶ περισσότερο κυριαρχικός.

Ποιὲς ἦταν ὡστόσο οἱ ὄντολογικὲς προϋποθέσεις τῆς μηχανιστικῆς αίτιοκρατίας, καὶ τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης γενικότερα; Ἀξίζει νὰ τὶς ἀπαριθμήσουμε.

1) Ἡ ὕλη (σύμφωνα μὲ τὴν ἀντίληψη τοῦ Δημόκριτου, τοῦ Ἐπίκουρου τοῦ Λουκρήτιου, τοῦ Γκασσαντί, τοῦ Νεύτωνα, κλπ.) ἀποτελεῖται ἀπὸ συμπαγῆ, σκληρὰ, ἄφθαρτα καὶ αἰώνια σωματίγια. Τὰ σωματίγια αὐτὰ ἦταν τὰ ἄτομα τοῦ Δημόκριτου καὶ ἀργότερα τοῦ Δάλτωνα.

2) Τὰ ἄτομα κινοῦνται στὸ χῶρον καὶ στὸ χρόνο, οἱ ὁποῖοι εἶναι ἀνεξάρτητοι ἀπὸ τὴν ὕλη-μορφὲς ἀνεξάρτητες ἀπὸ τὸ περιεχόμενό τους. Ὁ Εὐκλείδειος χῶρον, ἄπειρος καὶ χωρὶς δομὴ, καὶ ὁ ἀπόλυτος χρόνος, ὁ αὐτὸς σὲ ὅποιοδήποτε σημεῖο τοῦ σύμπαντος, ἀποτελοῦσαν τὸ χωροχρονικὸ πλαίσιο ποὺ ἦταν σύμφωνο μὲ τὶς προϋποθέσεις τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης. Γιὰ τοὺς μὲν, ἡ ὕλη, ὁ χῶρον καὶ ὁ χρόνος ὑπῆρχαν ἀπὸ τὴν αἰωνιότητα (Δημόκριτος, Λαπλάς), γιὰ τοὺς δὲ δημιουργήθηκαν ἀπὸ τὸ θεὸ στὸ χρόνο $t = 0$ (Νεύτων). Ἡ μηχανιστικὴ ἀντίληψη ἦταν ὁ κοινὸς παρονομαστὴς αὐτῶν τῶν δύο - κατ' ἀρχὴν ἀσυμβίβαστων - κοσμοαντιλήψεων.

3) Ὁ ἀπόλυτος χῶρον, ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὴν ὕλη, ἀποτελοῦσε τὸ προνομιούχο σύστημα ποὺ θὰ ἔδινε μιὰ βάση στοὺς νόμους τῆς μηχανικῆς. Ὁ ἀπόλυτος χῶρον καὶ ὁ ἀπόλυτος χρόνος ἀποτελοῦσαν ἐπίσης τὴν βάση γιὰ τὸν ὄρισμό τῆς ἀπόλυτης κίνησης (κίνησης σὲ σχέση μὲ τὸν ἀπόλυτο χῶρον). Ἡ τυχὸν ἀνακάλυψιν τοῦ ἀπόλυτου συστήματος ἀναφορᾶς, θὰ ἦταν ταυτόχρονα ἡ ἐπιβεβαίωσιν τῆς ἰσχύος τῆς Μηχανικῆς καὶ ὀλοκλήρου τοῦ μηχανιστικοῦ σύμπαντος.

4) Ἡ κίνηση προκαλεῖται ἀπὸ δυνάμεις ποὺ διαδίδονται μὲ ἄπειρη ταχύτητα (δύναμιν τῆς βαρύτητας, ἠλεκτρικὲς καὶ μαγνητικὲς δυνάμεις). Ἔτσι ὁ καθο-

ρισμός του αποτελέσματος από την αίτια θα έπρεπε να είναι στιγμιαίος¹.

Ο Νεύτων θεωρούσε τον απόλυτο χώρο, «*sensorium Dei*». Η στιγμιαία αλληλεπίδραση θύμιζε άλλωστε την πανταχού παρουσία του Θεού. Άλλα ή μηχανιστική αντίληψη (ύλιστική ή ιδεαλιστική) είχε τα όρια της: η σχετικότητα εξεδίωξε, όπως είναι γνωστό, όλα αυτά τα απόλυτα, από την περιοχή της φυσικής.

Παρά τη (λανθασμένη) αρχή, κατά την οποία οι δυνάμεις μεταδίδονται με άπειρη ταχύτητα, η κλασική φυσική δεχόταν το διαχωρισμό των φυσικών συστημάτων. (Ωστόσο η αποδοχή της μη τοπικότητας των φυσικών αλληλεπιδράσεων, συνεπάγεται το μη διαχωρισμό). Έτσι το διαχωρισμό που δεχόταν σιωπηρά η κλασική φυσική, βρισκόταν σε αντίφαση με τη στιγμιαία δράση από απόσταση. (Θά δούμε στα μέρη 5 και 6 τη σπουδαιότητα αυτού του προβλήματος). Επίσης η κλασική φυσική δεχόταν ότι η μέτρηση δεν διαταράσσει την κατάσταση του συστήματος, άρα ότι όλες οι μεταβλητές που χαρακτηρίζουν την κατάσταση του είναι συμβατές. Μπορούμε, κατά συνέπεια, να μετρήσουμε όλες τις μεταβλητές του συστήματος και να ορίσουμε αυστηρά την κατάστασή του (ένα σημείο στο χώρο των φάσεων). Η θεωρητική αυτή δυνατότητα αποτελούσε την βάση της μηχανιστικής αιτιοκρατίας.

Ας επιχειρήσουμε τώρα να δούμε τη λογική όψη του ζητήματος. Η μη διαταραχή και η συμβατότητα των μεταβλητών, σημαίνουν ότι το σύστημα διατηρεί την ταυτότητά του κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Η συμβατότητα των μεταβλητών συνεπάγεται εξάλλου την συμβατότητα όλων των προτάσεων που αφορούν το σύστημα. Η συμβατότητα όλων των προτάσεων σημαίνει, με τη σειρά της, ότι η δομή των προτάσεων που αφορούν ένα κλασικό σύστημα είναι μια δομή Μπούλ (Boole)². Άλλα η δομή Μπούλ είναι η δομή της τυπικής λογικής, άρα της λογικής της ταυτότητας.

Έτσι η ισχύς της κλασικής αιτιοκρατίας προϋποθέτει την ισχύ της τυπικής λογικής για οποιοδήποτε φυσικό φαινόμενο. Μια αναγκαία συνθήκη για να είναι αιτιοκρατική μια θεωρία, είναι ο μπούλειος χαρακτήρας της λογικής της. Άλλα η συνθήκη αυτή δεν είναι έπαρκής. Μια ικανή και αναγκαία συνθήκη για να είναι αιτιοκρατικό ένα μπούλειο σύστημα, με πεπερασμένο αριθμό

1. Βλ. Isaak Newton : 1) *Principia*, Univ. of California Press, 1947. 2) *Opticks*, Dover Publ. Laplace, *Oeuvres Complètes*, Cauthier Villars, τ. 7. F. Engels, *Dialectique de la Nature*, ό.π.

2. Καλείται πλέγμα ένα διατεταγμένο σύνολο, όπου κάθε ζεύγος στοιχείων έχει ένα άνωτερο ένα κατώτερο φράγμα (που σημειώνονται με V και Λ). Ένα πλέγμα είναι έπιμεριστικό αν καθένας από τους νόμους (V, Λ) είναι έπιμεριστικός σε σχέση με τον άλλο. Ένα συμπληρωμένο πλέγμα: 1) Έχει ένα ελάχιστο και ένα μέγιστο και 2) κάθε στοιχείο του έχει ένα συμπλήρωμα. Ένα έπιμεριστικό και συμπληρωμένο πλέγμα είναι πλέγμα Μπούλ. Η λογική δομή ενός πλέγματος Μπούλ είναι η δομή της τυπικής λογικής.

βαθμῶν ἐλευθερίας, εἶναι ἡ *ἀτομικότητα*¹. Ἡ ἀτομικότητα μιᾶς λογικῆς καὶ ἡ αἰτιοκρατία εἶναι ἰσοδύναμες². Ἀλλὰ ἡ ἀτομικότητα εἶναι μιὰ ἄλλη ἔκφραση τῆς ταυτότητος, τῆς ἀπουσίας *παραγωγῆς νέου*.

Ποιά εἶναι ἡ φιλοσοφικὴ σημασία τῆς λογικῆς αὐτῆς ὄψης τῆς κλασικῆς αἰτιοκρατίας; Λογικὴ τῆς ταυτότητος σημαίνει ὅτι τὸ σύστημα διατηρεῖ τὴν ταυτότητά του κατὰ τὴ διάρκεια τῆς μέτρησης καὶ τῆς κίνησης, ἄρα ὅτι δὲν παράγεται τίποτα νέο. Τὰ σωματία τῆς κλασικῆς μηχανικῆς εἶναι στερημένα ἀπὸ οποιαδήποτε ποιότητα. Μοναδικὸ κατηγορήμα τους εἶναι ἡ *μάζα*, μέτρο τῆς ἀδρανείας τους. Ἔτσι στὸ μηχανιστικὸ κόσμο δὲν μποροῦν νὰ ὑπάρξουν ἡ ποιότητα καὶ ὁ ποιοτικὸς μετασχηματισμὸς. Ἡ διαλεκτικὴ ἦταν συνεπῶς ἀ-συμβίβαστη μὲ τὴν κλασικὴ αἰτιοκρατία.

Τὸ μηχανιστικὸ πρότυπο εἶχε ἀξιώσεις καθολικότητας. Κατὰ τὴν κλασικὴ φυσικὴ, ἀκόμα καὶ οἱ πιθανοκρατικοὶ νόμοι θὰ μποροῦσαν νὰ ἀναχθοῦν σὲ «αἰτιοκρατικούς», μὲ τὴν εἰσαγωγὴ συμπληρωματικῶν παραμέτρων (τῶν κλασικῶν *λανθανουσῶν παραμέτρων*). Ἔτσι τὸ τυχαῖο ἀποκλειόταν ἀπὸ τὸν κόσμο: ἐθεωρεῖτο προῖον ἀτελοῦς γνώσης, ἄρα ὑποκειμενικὴ κατηγορία.

Ἀλλὰ ἡ κλασικὴ αἰτιοκρατία προϋποθέτει μιὰ σειρά ἀπὸ ἐξιδανικεύσεις, ἐπεὶδὴ ἀφορᾷ ἰδανικὰ συστήματα ποὺ μποροῦν νὰ περιγραφοῦν μαθηματικά. Ἀλλὰ τὰ πραγματικὰ συστήματα δὲν σέβονται αὐτὲς τὲς ἐξιδανικεύσεις. Πέρα ἀπὸ τὸν πλασματικὸ χαρακτήρα τῶν συμπαγῶν σωμάτων καὶ τῶν στιγμιαίων ἀλληλεπιδράσεων, ἀποδείχτηκε ὅτι ἀκόμα καὶ στὴν κλασικὴ μηχανικὴ εἶναι ἀδύνατο νὰ μετρήσουμε μὲ ἀκρίβεια τὴ θέση καὶ τὴν ὄρμη ἑνὸς σωματίου, ἄρα νὰ προσδιορίσουμε αὐστηρὰ τὴ θέση του στὸ χῶρο τῶν φάσεων³. Ἀκόμα καὶ ἡ κλασικὴ μηχανικὴ χειρίζεται, στὴν πραγματικότητα, στατιστικὰ σύνολα. Ποιὸ εἶναι τότε τὸ πεδίο ἰσχύος τῆς κλασικῆς αἰτιοκρατίας; Θὰ ξαναμιλήσουμε γι' αὐτό.

3. Ἡ δυναμικὴ αἰτιοκρατία.

Ἡ κλασικὴ αἰτιοκρατία ἰσχύει σὲ ἕνα ὀρισμένο ἐπίπεδο ἀφαίρεσης, γιὰ μακροσκοπικὰ κυρίως φαινόμενα (κίνηση, σύγκρουση καὶ σκεδασμὸς ἄκαμπτων σωμάτων, κλπ.). Ἀλλὰ ἀκόμα καὶ σ' αὐτὴ τὴν περίπτωσιν δημιουργοῦνται συχνὰ φαινόμενα τὰ ὁποῖα δὲν εἶναι μηχανικὰ (π.χ. θερμότητα). Ἐπίσης ἡ κίνηση τῶν πλανητῶν καὶ γενικότερα τῶν οὐρανίων σωμάτων προκαλεῖται

1. Μιὰ πρόταση *a* καλεῖται ἀτομικὴ, ἂν δὲν ὑπάρχει πρόταση *b*, ποὺ νὰ ἀφορᾷ τὸ σύστημα *S* νὰ εἶναι διαφορετικὴ ἀπὸ τὴ μηδενικὴ πρόταση καὶ νὰ συνεπάγεται τὴν *a* χωρὶς νὰ ταυτίζεται μὲ αὐτὴν. Ἡ ἀτομικότητα εἶναι ἡ τυπικὴ ἔκφραση τοῦ γεγονότος ὅτι τὸ σύστημα διατηρεῖ τὴν ταυτότητά του κατὰ τὴ διάρκεια τῆς μέτρησης.

2. Βλ., Ν. S. Kronfli, *Int. J. Th. Phys.*, 3, 315 (1970) καὶ 4, 141 (1971).

3. Βλ. τὰ ἄρθρα τῶν Bopp καὶ Fierz, στὸ *Observation and Interpretation*, Butterworths Publ., London, 1957.

από μη μηχανικές «δυνάμεις» (βαρύτητα). 'Η ίδια ή έννοια τής δύναμης (πού άπετέλεσε άντικείμενο κριτικής του 'Ενγκελς) βάση τής μηχανικής και τής λαπλασιανής αίτιοκρατίας, παρέμεινε μυστήριο για τή φυσική. 'Ο πλασματικός χαρακτήρας αύτής τής έννοιας άποδείχτηκε από τις σχετικιστικές θεωρίες. "Ετσι, τò πέρασμα από τή μακροσκοπική φυσική στη φυσική τών μικροσυστημάτων, θά έκανε ανάγλυφα τά όρια τής μηχανιστικής άντίληψης.

'Η ανάπτυξη του ήλεκτρομαγνητισμού έδειξε, πράγματι, ότι δέν υπάρχουν μόνο «δυνάμεις» τύπου Κουλόμ (οί όποίες διαδίδονται κατά μήκος τής εύθείας ή όποία ένώνει τά δύο σώματα). 'Υπάρχουν επίσης δυνάμεις κάθετες σ' αύτή τήν εύθεία. Και κυρίως, οί δυνάμεις, δηλαδή οί *άλληλεπιδράσεις*, δέν διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα, άρα ό καθορισμός δέν είναι στιγμιαίος: τά φαινόμενα είναι *διαδικασίες* πού πραγματοποιούνται μέσα στο χωρόχρονο, άρα έχουν χρονικό πάχος. ('Η άσυμβατότητα τών άλληλεπιδράσεων με πεπερασμένη ταχύτητα με τò κλασικό χωροχρονικό πλαίσιο, όδήγησε στην επανάσταση τής σχετικότητας). 'Επί πλέον: Τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα *εκπέμπονται και απορροφούνται* από τά σώματα, άρα άποτελούν μιá νέα πραγματικότητα, άσυμβίβαστη με τò μηχανιστικό κοσμοείδωλο. Τò ίδιο θά άποδεικνυόταν θεωρητικά άργότερα, και για τά κύματα τής βαρύτητας.

'Εχουμε λοιπόν τώρα διαδικασίες γένεσης και καταστροφής ύλικών μορφών. Οί νόμοι τής άκτινοβολίας όδηγοΰσαν τούς φυσικούς πρòς τά βάθη του άτόμου. Τò πεδίο ήταν ή νέα πραγματικότητα, μιá πραγματικότητα ανεξάρτητη από τήν πηγή της, ή όποία διαδίδεται με πεπερασμένη ταχύτητα και είναι ή αίτία μιás νέας μορφής καθορισμού (αίτιοκρατίας). Με τόν ήλεκτρομαγνητισμό του Μάξγουελ και τή θεωρία τής βαρύτητας του 'Αϊνστάιν, ή *άλληλεπίδραση* έγινε θεμελιαική έννοια, σύμφωνα με τò σχήμα του Χέγκελ και του διαλεκτικού ύλισμου.

'Όστόσο τά μικροφυσικά αύτά φαινόμενα συνδέθηκαν από τήν άρχή με μακροσκοπικά φαινόμενα. 'Η πραγματική κβαντική φύση τους δέν ήταν συνεπώς άκόμα έκδηλη. "Ετσι, αύτά τά φαινόμενα, όπου τò τυχαίο παίζει ουσιαστικό ρόλο, άπετέλεσαν, στο μακροσκοπικό επίπεδο, τή βάση για μιá νέα μορφή αίτιοκρατίας: *τὴ δυναμική αίτιοκρατία*.

Πράγματι, στο μακροσκοπικό επίπεδο έξαφανίζεται ό στοχαστικός χαρακτήρας τών ήλεκτρομαγνητικῶν και βαρυτικῶν φαινομένων. "Ενας τεράστιος αριθμός τέτοιων μικροφυσικῶν διαδικασιῶν έχει σά συνέπεια τήν άρνηση τής έξατομικευμένης φύσης τους. 'Η άρνηση του τυχαίου έμφανίζεται με τή μορφή του *δυναμικού νόμου*, όπου ή πιθανότητα πρόβλεψης είναι ίση με 1.

'Αλλά τò μόνο κοινό χαρακτηριστικό άνάμεσα στη μηχανιστική και στη δυναμική μορφή αίτιοκρατίας, είναι ή πιθανότητα πρόβλεψης. (Είναι διδακτικό νά σημειώσουμε ότι οί φυσικοί, άκόμα και οί φιλόσοφοι, δέν κατανόησαν συνήθως τήν ουσιαστική διαφορά άνάμεσα σ'αυτούς τούς δύο τύπους, αίτιακῆς σχέσης, πού γι'

τούς ταυτίζονται με τὴ λαπλασιανὴ αἰτιοκρατία). Πράγματι, ἡ δυναμικὴ μορφή αἰτιοκρατίας προϋποθέτει: 1) Τὴν ἔννοια τοῦ πεδίου, ἄρα μιᾶς πραγματικότητας ποῦ ἔχει ποιοτικὰ χαρακτηριστικά. 2) Τὴν πεπερασμένη ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων, ἄρα τὴν ἰδέα ὅτι τὰ φαινόμενα εἶναι χωροχρονικὲς διαδικασίες (τοπικότητα). 3) Τὴ γένεση καὶ τὴν καταστροφή σωματίων (φωτονίων, βαρυτονίων, κλπ.). 4) Τὴ δομὴ τοῦ ἀτόμου, καὶ γενικότερα τῆς ὕλης, ἡ ὁποία προϋποθέτει τίς φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις (ἠλεκτρομαγνητικὲς, βαρυτικὲς, ἰσχυρὲς καὶ ἀσθενεῖς). Τὸ γεγονός ὅτι ἡ πιθανότητα πρόβλεψης εἶναι πάλι ἴση με 1, ἀποτελεῖ συγκεκριμένη πραγματοποίηση τῆς διαλεκτικῆς ἀνάμεσα στὸ τυχαῖο καὶ τὴν ἀναγκαιότητα¹.

Οἱ μηχανικοὶ νόμοι, ποῦ προϋποθέτουν τὴν ἄπειρη ταχύτητα τῶν ἀλληλεπιδράσεων, θεωρήθηκαν ἀντικειμενικοί. Τὸ ἀναλλοίωτο τῆς μορφῆς τους σὲ σχέση με τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Γαλιλαίου, ἦταν ἡ τυπικὴ ὄψη αὐτῆς τῆς ἀντικειμενικότητας. Ἄλλὰ οἱ νόμοι τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ δὲν εἶναι ἀναλλοίωτοι ὡς πρὸς τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Γαλιλαίου. Ἡ βαθύτερη αἰτία αὐτῆς τῆς ἀσυμμετρίας εἶναι ἡ πεπερασμένη ταχύτητα τῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἄλλὰ οἱ νέοι νόμοι (ἠλεκτρομαγνητικοὶ καὶ βαρυτικοί, στὰ πλαίσια τῆς βαρύτητας τοῦ Ἀϊνστάϊν) εἶναι ἀναλλοίωτοι σὲ σχέση με μιὰ ἄλλη ομάδα μετασχηματισμῶν, τὴν ομάδα Λόρεντζ.

Τὸ ἀναλλοίωτο τῶν φυσικῶν νόμων εἶναι μιὰ οὐσιαστικὴ συνθήκη ἀντικειμενικότητας, γιατί μ' αὐτὸ τὸν τρόπο οἱ νόμοι γίνονται ανεξάρτητοι ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς καὶ ἀποκτοῦν τὸ χαρακτηριστικὸ τῆς ἀντικειμενικότητας καὶ τῆς καθολικότητας. Τὸ ἀναλλοίωτο τῆς μορφῆς ἐξασφαλίζει ἐξἄλλου τὸ ἀναλλοίωτο τῶν φυσικῶν μεγεθῶν, τῶν ὁποίων οἱ σχέσεις ἐκφράζονται ἀπὸ τὸ νόμο. Ἄλλὰ ἡ σχετικιστικὴ ἀντικειμενικότητα εἶναι ἰσχυρότερη ἀπὸ τὴν κλασικὴ, ἐπειδὴ ἀφορᾶ μιὰ εὐρύτερη τάξη φαινομένων καὶ προπαντὸς φαινομένων πραγματικῶν, ποῦ προκαλοῦνται ἀπὸ μὴ πλασματικὲς ἀλληλεπιδράσεις.

Ἡ γνώση τῶν σχετικιστικῶν φαινομένων εἶχε σὰ συνέπεια τὴν κατάρρευση τοῦ μηχανιστικοῦ σύμπαντος. Δὲν ὑπάρχει πλέον ἀπόλυτος χῶρος καὶ χρόνος, ἀμοιβαῖα ἀνεξάρτητοι. Ὑπάρχει ἓνα χωροχρονικὸ συνεχές, καὶ ἡ μορφή αὐτοῦ τοῦ συνεχοῦς καθορίζεται - κατὰ τὴ θεωρία τῆς βαρύτητας τοῦ Ἀϊνστάϊν - ἀπὸ τὴ χωροχρονικὴ κατανομὴ τῆς ὕλης. Στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ δυναμικοῦ αὐτοῦ σύμπαντος πραγματοποιοῦνται τὰ φαινόμενα τὰ ὁποία προκαλοῦνται ἀπὸ ὕλικες ἀλληλεπιδράσεις στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ κώνου τοῦ φωτός. Ἡ τοπικότητα τῶν φυσικῶν διαδικασιῶν ἀποδείχτηκε ἀπὸ τὸ σχετικιστικὸ φορμαλισμὸ.

Ὑπάρχει μιὰ ἀπόλυτη χρονικὴ τάξη ἀνάμεσα σὲ γεγονότα ποῦ συνδέονται αἰτιακά (ἡ αἰτία προηγεῖται ἀπὸ τὸ ἀποτέλεσμα) καὶ ὁ χρόνος πραγματώνεται με τὴν κίνηση. Ὁ αἰτιοκρατικὸς χαρακτήρας τῶν φαινομένων συνδέεται

1. Γιὰ τὸ χαρακτήρα τῶν μικροφαινομένων καὶ τὴ σύνδεσή τους με τὸ μακροσκοπικὸ ἐπίπεδο, βλ. E. Bitsakis, *Physique et Matérialisme*, δ.π., κεφ. 7 καὶ 8.

μ' αυτό τον τρόπο με τη μοναδική κατεύθυνση ροής του χρόνου, επειδή ο χρόνος ρέει προς μια μοναδική κατεύθυνση - από το παρελθόν. προς το μέλλον. Το βέλος του χρόνου είναι μια άλλη εκδήλωση του αιτιοκρατικού χαρακτήρα των ηλεκτρομαγνητικών και των βαρυτικών φαινομένων.

"Όλα τὰ φυσικά φαινόμενα είναι μὴ ἀντιστρεπτά. Ἡ μὴ ἀντιστρεψιμότητα καθορίζει τὴ μοναδική κατεύθυνση τοῦ βέλους τοῦ χρόνου. Ἔτσι, μπορούμε νὰ μιλήσουμε γιὰ φυσικό, κοσμολογικό, θερμοδυναμικό, γεωλογικό, βιολογικό βέλος, κ.ο.κ. Ὅλες αὐτὲς οἱ ὀνομασίες ἐκφράζουν ἓνα καὶ μοναδικὸ γεγονός: ὅτι δὲν βρισκόμαστε πλέον στὸ μὴ τοπικὸ Εὐκλείδειο σύμπαν, ἀλλὰ σὲ ἓνα σύμπαν ὅπου ἀλληλεπιδράσεις μὲ πεπερασμένη ταχύτητα (ἄρα τοπικὲς) ἐξασφαλίζουν τὴν αἰτιατικὴ σύνδεση καὶ καθορίζουν τὴν κατεύθυνση τῆς ροῆς τοῦ χρόνου: ὁ χρόνος δὲν ἔχει νόημα ἔξω ἀπὸ τὴν κίνηση καὶ τὸ μετασχηματισμό, ὅπως τὸ εἶχε προαισθανθεῖ ὁ Ἀριστοτέλης. Ὁ χρόνος δὲν εἶναι συνεπῶς τὸ καθολικὸ ἀφηρημένο τῆς μηχανιστικῆς φυσικῆς. Εἶναι τοπικὸς χρόνος, καὶ συνδέεται μὲ τὶς μὴ ἀντιστρεπτές διαδικασίες ποὺ πραγματοποιοῦνται στὴ φύση. Ἔτσι ὁ χῶρος, ὁ χρόνος, ἡ ὕλη, ἡ κίνηση καὶ οἱ φυσικοὶ καθορισμοὶ συνιστοῦν ἓνα συνεκτικὸ ὅλον. Ἡ δυναμικὴ αἰτιοκρατία εἶναι ἡ μορφή ποὺ χαρακτηρίζει τὰ σχετικιστικὰ φαινόμενα στὸ μακροσκοπικὸ ἐπίπεδο¹.

Ἡ διατύπωση τῶν σχετικιστικῶν θεωριῶν ἀπέδειξε συνεπῶς: 1) Τὴν πλασματικὴ φύση τῶν δυνάμεων τύπου Κουλόμ. 2) Τὰ ὅρια τοῦ μηχανιστικοῦ καθορισμοῦ. 3) Τὸν τοπικὸ καὶ αἰτιοκρατικὸ χαρακτήρα τῶν ηλεκτρομαγνητικῶν καὶ τῶν βαρυτικῶν φαινομένων 4) Ὅτι στὸ σύμπαν τοῦ Μινκόφσκυ (στὸ σύμπαν τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας) ὅλες οἱ ἀλληλεπιδράσεις ὀφείλουν νὰ σέβονται τὴν ἀρχὴ τῆς τοπικότητας. Ἡ ἐξέλιξη τῆς μικροφυσικῆς ἐπιβεβαίωσε αὐτὴ τὴν πρόβλεψη. Ἀλλὰ στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ ἐμφανίστηκε ἓνα πρόβλημα, γιὰ τὸ ὁποῖο θὰ μιλήσουμε στὸ ἕκτο μέρος.

Ἀλλὰ δὲν προσεγγίσαμε ἀκόμα τὴν πραγματικὴ μικροσκοπικὴ φύση τῶν φυσικῶν διεργασιῶν. Ἡ κβάντιση τῶν ἀλληλεπιδράσεων στὸ κβαντικὸ - μικροφυσικὸ ἐπίπεδο, ἀπέδειξε ὅτι ἡ συνέχεια τοῦ μακροσκοπικοῦ ἐπιπέδου δὲν εἶναι παρὰ ἐπιφανόμενο. Στὸ ἐπίπεδο αὐτό, τὸ τυχαῖο εἶναι οὐσιαστικὸ.

4. Ἡ κλασικὴ στατιστικὴ αἰτιοκρατία.

Ἡ μηχανιστικὴ αἰτιοκρατία, σύμφωνα μὲ τὴν προηγούμενη ἀνάλυση:

1) Ἴσχύει προπαντὸς σὲ μακροσκοπικὴ κλίμακα καὶ σὲ ἓνα ἀκραῖο ἐπίπεδο ἀφαίρεσης. 2) Προϋποθέτει τὶς (πλασματικὲς) ἀλληλεπιδράσεις μὲ ἄπειρη ταχύτητα, ἄρα δὲν σέβεται τὴν τοπικότητα. 3) Περιορίζει τὴν κίνηση στὴ μετα-

1. Ἐκτὸς ἀπὸ τὸ προηγούμενο βιβλίο, βλ. 1) P. C. W. Davis, *The Physics of Time Asymmetry*, Univ. California Press, 1974. 2) F. Fer, *L'irréversibilité*, Gauthier-Villars, 1977. 3) I. Prigogine, *Introduction à la Thermodynamique des processus irréversibles*, Dunod, 1968.

τόπιση μέσα στο χώρο. 4) Δέχεται ότι στη διάρκεια των ἀλληλεπιδράσεων (καί τῆς μέτρησης) διατηρεῖται ἡ ταυτότητα τῶν φυσικῶν συστημάτων. Σκιαγραφήσαμε μὲ πιὸ τρόπο ἡ δυναμικὴ αίτιοκρατία ἐφάνερωσε τὰ ὅρια αὐτῆς τῆς ἀντίληψης.

Οἱ κλασικὲς θεωρίες τοῦ πεδίου χειρίζονται στὴν πραγματικότητα τεράστια σύνολα στοχαστικῶν μικροφαινομένων. Ἡ μαθηματικὴ δομὴ τους, ὡστόσο, προϋποθέτει τὴ συνέχεια τοῦ πεδίου. Ἐπίσης ὁ νέος τύπος αίτιοκρατίας ποὺ χαρακτηρίζει αὐτὲς τὶς θεωρίες, προϋποθέτει τὴ συνέχεια τῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἡ κατάσταση αὐτὴ ἐξηγεῖται ἀπὸ τὸ ὅτι στὸ μακροσκοπικὸ ἐπίπεδο, τὸ μικροσκοπικὸ τυχαῖο μεταμορφώνεται σὲ μακροσκοπικὴ ἀναγκαιότητα.

Ὅσοσο εἶναι γνωστὸ ὅτι ἀκόμα καὶ ἡ κλασικὴ φυσικὴ γνώριζε νόμους, ὅπου τὸ τυχαῖο βρισκόταν «στὴν ἐπιφάνεια» καὶ ἔπαιζε οὐσιαστικὸ ρόλο. Ἡ κινητικὴ θεωρία τῶν ἀερίων, ἡ κλασικὴ θερμοδυναμικὴ, κλπ., θὰ ἦταν ἀδύνατες χωρὶς τὸ λογισμό τῶν πιθανοτήτων. Ἀλλὰ εἰ θεωρίες αὐτὲς χειρίζονται τὰ μικροσκοπικὰ συστήματα σὰν ὕλικά σημεῖα, ἄρα μέσα στὰ πλαίσια τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης. Ἡ ἰσχὺς τῆς μηχανιστικῆς αίτιοκρατίας ἦταν, κατὰ συνέπεια, μιὰ ἀπὸ τὶς προϋποθέσεις τῆς κλασικῆς στατιστικῆς φυσικῆς.

Σημειώσαμε ὅτι μὲ βάση τὶς προηγούμενες ἐξιδανικεύσεις, γινόταν δεκτὸ ὅτι μπορούσε κανεὶς νὰ μετρήσει ὅλες τὶς μεταβλητὲς ποὺ χαρακτηρίζουν τὴν κατάσταση τοῦ κλασικοῦ σωματίου, ἄρα νὰ ὀρίσει ἓνα σημεῖο στὸν χώρο τῶν φάσεων, τὸ ὁποῖο ἀντιστοιχεῖ σ' αὐτὴ τὴν κατάσταση. Ἔτσι μιὰ κλασικὴ κατάσταση ἀντιπροσωπεύεται ἀπὸ ἓνα πιθανοτικὸ μέτρο χωρὶς διασπορές. Οἱ στατιστικὲς καταστάσεις, ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, ἀντιπροσωπεύονται ἀπὸ πιθανοτικὰ μέτρα στὸν χώρο τῶν φάσεων. Ἀλλὰ στὸ κλασικὸ πλαίσιο, μιὰ κατάσταση μὲ στατιστικὲς διασπορές θεωρεῖται σὰν μιὰ μὴ πλήρης περιγραφή τοῦ συστήματος. Ἔτσι θὰ ἦταν δυνατόν, κατ' ἀρχὴν, νὰ εἰσαχθεῖ ἓνας ἀριθμὸς συμπληρωματικῶν παραμέτρων καὶ νὰ ὀρισθεῖ μιὰ κατάσταση χωρὶς διασπορές (ἓνα σημεῖο στὸν χώρο τῶν φάσεων). Οἱ κλασικοὶ πιθανοκρατικοὶ νόμοι θεωρήθηκαν συνεπῶς ἀναγώγιμοι σὲ «αἰτιοκρατικούς» νόμους (δηλαδή σὲ μηχανικούς ἢ δυναμικούς νόμους). Ἔτσι, ὅπως σημειώσαμε, ἡ κατηγορία τοῦ τυχαίου ἀνάχθηκε στὸ status ὑποκειμενικῆς κατηγορίας.

Στὰ πλαίσια τῶν στατιστικῶν θεωριῶν δὲν περιγράφονται τὰ ἀτομικὰ συμβάντα. Ἀλλὰ σύμφωνα μὲ τὴ μηχανιστικὴ ἀντίληψη, μιὰ τέτοια κατ' ἀρχὴν (ἂν ὄχι πρακτικὴ) δυνατότητα, ἀποτελοῦσε ἐγγύηση γιὰ τὴν ἰσχὺ τῆς αίτιοκρατίας. Ὅσοσο τὸ οὐσιαστικὸ δὲν βρίσκεται ἐκεῖ. Ἐνας δυναμικὸς νόμος μπορεῖ νὰ ἐπικαλύπτει ἓνα τεράστιο ἀριθμὸ τυχαίων συμβάντων. Τὸ τυχαῖο, ἀντίστροφα, μπορεῖ νὰ εἶναι τὸ προῖον κρυμμένων δυναμικῶν νόμων ποὺ θὰ μπορούσαν νὰ ἀνακαλυφθοῦν, ἢ ἀκόμα χαοτικῶν κινήσεων σὲ ἓνα ἄλλο ἐπίπεδο ὀργάνωσης τῆς ὕλης. «Παντοῦ ὅπου τὸ τυχαῖο μοιάζει νὰ λειτουργεῖ στὴν ἐπιφάνεια, ἔγραφε ὁ Ἐνγκελς, βρίσκεται πάντα κάτω ἀπὸ τὴν κυριαρχία ἐσω-

τερικῶν κρυμμένων νόμων, πού δὲν μένει παρὰ νὰ τοὺς ἀνακαλύψουμε»¹.

Ἡ προηγούμενη ἄποψη τοῦ Ἔνγκελς φαίνεται νὰ ἐνισχύει τὴ θέση τῶν κλασικῶν ντετερμινιστῶν. Ὡστόσο δὲν πρόκειται γι' αὐτό. Ἦδη ὁ Χέγκελ εἶχε διατυπώσει τὴ διαλεκτικὴ ἀνάμεσα στὸ τυχαῖο καὶ στὴν ἀναγκαιότητα (ἡ πραγματικὴ ἀναγκαιότητα περιέχει τὸ συμπτωματικὸ καὶ ἐπὶ πλέον ἐπιστρέφει σ' αὐτό)². Ὁ Ἔνγκελς ἀνέπτυξε αὐτὴ τὴ διαλεκτικὴ σὲ ὑλιστικὴ βάση. Τὸ συμπτωματικὸ καὶ ἡ ἀναγκαιότητα, γράφει, συνυπάρχουν στὴ φύση. Ἔτσι πρέπει νὰ ἀναζητήσουμε τὶς συγκεκριμένες σχέσεις τους. Ἡ κλασικὴ αἰτιοκρατία, ἀντίθετα, ἡ ὁποία ἤλθε στὶς φυσικὲς ἐπιστῆμες ἀπὸ τὸ γαλλικὸ ὑλισμὸ, ἐπιχειρεῖ νὰ τελειώσει μὲ τὸ συμπτωματικὸ, μὲ τὸ νὰ τὸ ἀρνεῖται ἀπόλυτα³.

Ὁ θεμελιωτὴς τῆς θεωρίας τῶν πιθανοτήτων - ὁ μεγάλος μαθηματικὸς Λαπλὰς - ἀντιπροσωπεύει τὸ ἀκραῖο σημεῖο τῆς τάσης νὰ ἀναχθεῖ ἡ κατηγορία τοῦ τυχαίου σὲ ὑποκειμενικὴ κατηγορία: «Ὁφείλουμε (...) νὰ δοῦμε τὴν παροῦσα κατάσταση τοῦ σύμπαντος σὰν ἀποτέλεσμα τῆς προηγούμενης κατάστασής του καὶ σὰν αἰτία αὐτῆς πού θὰ ἀκολουθήσει. Μιὰ διάνοια ἡ ὁποία, σὲ μιὰ στιγμή, θὰ γινώριζε ὅλες τὶς δυνάμεις μὲ τὶς ὁποῖες εἶναι προικισμένη ἡ φύση καὶ τὴν ἀντίστοιχη κατάσταση τῶν ὄντων πού τὴν ἀποτελοῦν, ἂν ἐξᾴλλου ἦταν ἀρκετὰ εὐρεία ὥστε νὰ ὑποβάλλει αὐτὰ τὰ δεδομένα σὲ ἀνάλυση, θὰ ἀγκάλιαζε μέσα στὸν ἴδιο τύπο τὴν κίνηση τῶν μεγαλύτερων σωμάτων τοῦ σύμπαντος, καθὼς καὶ τοῦ πιὸ ἐλαφροῦ ἀτόμου. Τίποτα δὲν θὰ ἦταν ἀβέβαιο γι' αὐτὴν, καὶ τὸ μέλλον, ὅπως καὶ τὸ παρελθόν, θὰ ἦταν παρόντα στὸ βλέμμα της»⁴.

Ὁ ὑλιστὴς Λαπλὰς ἦταν ἐπίσης - καὶ ἀναπόφευκτα - αἰτιοκράτης. Ἄλλὰ ἡ θέση του εἶναι χαρακτηριστικὴ τοῦ ρεύματος τοῦ ἀναγωγισμοῦ, πού ἀγνοεῖ τὶς ποιοτικὲς διαφορὲς στὴ φύση. Τὸ ρεῦμα αὐτό, πράγματι, ἀγνοεῖ τὴν πραγματικὴ φύση τῆς ἐξέλιξης: τὸ πέρασμα ἀπὸ ἓνα ἐπίπεδο ὀργάνωσης τῆς ὕλης σὲ ἓνα διαφορετικὸ ἐπίπεδο, στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ ὁποῖου ἰσχύουν ποιοτικὰ διαφορετικοὶ νόμοι, μὴ ἀναγώγιμοι στοὺς νόμους τοῦ κατώτερου ἐπιπέδου. Ἡ ποιότητα καὶ οἱ ποιοτικὲς διαφορὲς καθιστοῦν ἀδύνατη ὁποιαδήποτε ἀναγωγικὴ ἀπόπειρα. Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, οἱ στατιστικοὶ νόμοι περιγράφουν μὲ ἐπάρκεια τὴν ἀντικειμενικὴ συμπεριφορὰ τῶν στατιστικῶν συνόλων. Εἶναι κατὰ συνέπεια ἀντικειμενικοί, ὅπως καὶ οἱ δυναμικοὶ νόμοι. Αὐτὸ δὲν σημαίνει ὅτι δίνουν ὑποχρεωτικὰ μιὰ ἐσχατὴ περιγραφή τῆς πραγματικότητας, καὶ ὅτι κάθε πρ σπάθεια νὰ ἀνακαλυφθοῦν βαθύτεροι νόμοι θὰ ἦταν περιττή.

1. F. Engels, *L. Feuerbach*, Ed. Sociales, 1970, σ. 67.

2. Hegel, *Logique*, Aubier, 1949, II, σ. 209-210.

3. F. Engels, *Dialectique de la Nature*, ὅ.π. σ. 228.

4. Laplace, «Essai philosophique sur les probabilités», *Oeuvres Complètes*, Gauthier-Villars, τ. 7 σ. VI.

5. 'Ο κβαντικός στατιστικός καθορισμός.

'Η κλασική στατιστική δὲν λαμβάνει ὑπ' ὄψη τὴν πραγματικὴ κβαντικὴ φύση τῶν μικροφαινομένων. "Ἐτσι ἡ στατιστικὴ αὐτὴ, τέτοια ποῦ ἦταν, καὶ προπαντὸς ὅπως κατανοήθηκε, δὲν μπόρεσε νὰ ἀναδείξει τὴ διαλεκτικὴ τοῦ τυχαίου καὶ τῆς ἀναγκαιότητας. 'Η κβαντικὴ φυσικὴ ἔκανε αὐτὸ τὸ βῆμα.

'Η κβαντικὴ φυσικὴ (μικροφυσικὴ) γεννήθηκε μὲ τὴν ἀνακάλυψη τῆς κβάντισης τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀλληλεπίδρασης (1900), τὴν ἀνακάλυψη τῆς ραδιενέργειας καὶ τῆς δομῆς τοῦ ἀτόμου, ἄρα μὲ τὴν ἀνακάλυψη ἐνὸς ἐπιπέδου ὀργάνωσης τῆς ὕλης βαθύτερου ἀπὸ τὸ μακροσκοπικόν. 'Η ἀνάδυση αὐτῆς τῆς ἐπιστήμης προϋποθέτει ἐξάλλου τὴν ἀνάπτυξη τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ (καὶ τῆς σχετικῆς τεχνικῆς), τῆς τεχνικῆς τῆς φωτογραφίας, τοῦ κενοῦ, τῆς χημικῆς ἀνάλυσης, τῆς φασματοσκοπίας καὶ ὀρισμένων κλάδων τῶν νεώτερων μαθηματικῶν.

Σημειώσαμε στὸ μέρος 2, ὅτι ἡ δομὴ τῶν προτάσεων ποῦ ἀφοροῦν ἓνα κλασικὸ σύστημα εἶναι μπούλεια, καὶ ὅτι ἡ δομὴ αὐτὴ εἶναι συνέπεια: 1) Τῆς συμβατότητας ὄλων τῶν μεταβλητῶν τοῦ συστήματος καὶ 2) τῆς διατήρησης τῆς ταυτότητάς του κατὰ τὴ μέτρηση. 'Η ἐπιμεριστικὴ ταυτότητα ποῦ ἰσχύει ἐπίσης στὴν κλασικὴ μηχανικὴ, εἶναι μιὰ ἄλλη συνέπεια τῆς συμβατότητας τῶν παρατηρήσιμων, καὶ τῆς διατήρησης τῆς ταυτότητας τοῦ συστήματος. 'Η ἐπιμεριστικὴ ταυτότητα δὲν ἰσχύει στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ. 'Ἐδῶ, ἀντίθετα, ἰσχύει ἡ ἀρχὴ τῆς ἐπαλληλίας¹. 'Ἄλλὰ ἓνα πλέγμα ποῦ ἱκανοποιεῖ τὴν ἀρχὴ τῆς ἐπαλληλίας δὲν εἶναι μπούλαιο. "Ἐτσι ἡ λογικὴ δομὴ τῶν προτάσεων ποῦ ἀφοροῦν ἓνα κβαντικὸ σύστημα δὲν εἶναι ἡ δομὴ τῆς τυπικῆς λογικῆς, ἄρα τῆς λογικῆς τῆς ταυτότητας². Ποιὸ εἶναι τὸ φυσικὸ νόημα τῆς λογικῆς ὄψης αὐτοῦ τοῦ προβλήματος;

'Η λογικὴ αὐτὴ ὄψη ἀποτελεῖ τὴ λογικὴ μεταγραφή τοῦ γεγονότος ὅτι οἱ φυσικὲς προκείμενες τῶν δύο κλάδων εἶναι διαφορετικές. 'Η μὴ μπούλεια δομὴ τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς εἶναι συνέπεια: 1) Τοῦ ὅτι στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ ὑπάρχουν ἀσύμβατες παράμετροι καὶ ἰσχύουν οἱ ἀνισότητες τοῦ Χάϊζενμπεργκ. 2) Τῆς ἰσχύος τῆς ἀρχῆς τῆς ἐπαλληλίας. 3) Τοῦ πιθανοτικοῦ χαρακτήρα αὐτοῦ τοῦ κλάδου. Μὲ ποιὸ τρόπο λοιπὸν συνδέονται οἱ κβαντικὲς ἰδιαιτερότητες μὲ τὴ δῆθεν ἔλλειψη αίτιοκρατίας; Θὰ ἐπιχειρήσουμε νὰ δείξουμε ὅτι ἡ διαφορὰ ἀνάμεσα στοὺς δύο κλάδους βρίσκεται στὸ γεγονὸς ὅτι στὴν κβαντικὴ μη-

1. 'Ἐπιμεριστικὴ ταυτότητα γιὰ τρεῖς προτάσεις a, b, c.

$$c \wedge (a \vee b) = (c \wedge a) \vee (c \wedge b)$$

'Ἀρχὴ τῆς ἐπαλληλίας: Γιὰ κάθε ζεύγος προτάσεων a καὶ b (a=b) ὑπάρχει μιὰ πρόταση c, c=a, c=b, τέτοια ὥστε $a \vee b = a \vee c = b \vee c$.

2. Γιὰ τὴ λογικὴ δομὴ τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, βλ: 1) J. M. Jauch, *Foundations of Quantum Mechanics*, Addison-Wesley, 1968. 2) C. Piron, *Foundations of Quantum Physics*, Benjamin, 1976.

χανική δὲν ἰσχύει γενικὰ ἢ ἀρχὴ τῆς ταυτότητας - βάση τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης. Ἐδῶ ἐπεμβαίνουν διαταραχές, δημιουργία νέων στοιχείων πραγματικότητας, πέρασμα ἀπὸ τὸ δυνάμει στὸ ἐνεργεῖα. Στὴν περιοχὴ αὐτὴ ἐκδηλώνεται ἕνας νέος τύπος καθορισμοῦ: ὁ *κβαντικός στατιστικός καθορισμός*.

1. Ἐὰς θεωρήσουμε πρῶτα τὶς ἀνισότητες τοῦ Χάιζενπεργκ, κατὰ τὶς ὁποῖες εἶναι ἀδύνατο νὰ μετρήσουμε στὸ ἴδιο σύστημα δύο συζυγεῖς παραμέτρους (ὄπως ἡ θέση καὶ ἡ ὄρμη) μὲ ἀπεριόριστη ἀκρίβεια. Κατ' ἀρχὴν, τὸ ἀξίωμα ὅτι οἱ ἀνισότητες αὐτὲς θέτουν ἕνα ἀνώτερο ὄριο στὴν ταυτόχρονη γνώση δύο συζυγῶν μεταβλητῶν, ἀμφισβητήθηκε ἀπὸ πολλοὺς φυσικοὺς. Ἐὰς δεχτοῦμε ὡστόσο τὴν ἰσχύ τους. Πῶς θὰ μπορούσαμε τότε νὰ τὶς ἐρμηνεύσουμε; Μιὰ ἐρμηνεία, πού δόθηκε ἀπὸ τὸν ἴδιο τὸν Χάιζενπεργκ, εἶναι ἡ *τελεστικὴ* (operationaliste): τὸ ὄργανο τῆς μέτρησης διαταράσσει τὸ σύστημα, ἐξαιτίας τῆς πεπερασμένης τιμῆς τοῦ κβάντου δράσης. Ἔτσι καταστρέφει τὴ δυνατὴ πληροφορία γιὰ τὴν ἄλλη συζυγὴ μεταβλητὴ.

Ἡ προηγούμενη ἐρμηνεία προϋποθέτει ὅτι οἱ δύο μεταβλητὲς ἔχουν ὀρισμένες τιμὲς πρὶν ἀπὸ τὴ μέτρηση. Ἀλλὰ ὁ ἰσχυρισμὸς αὐτός ἀντιφάσκει μὲ τὴν «ἀρχὴ» τῆς ἀνυπαρξίας τῶν μεγεθῶν πού δὲν παρατηρήθηκαν, ἀρχὴ πού τὴν εἰσήγαγε ὁ ἴδιος ὁ Χάιζενπεργκ.

Ἀλλὰ ἡ ἔλλειψη συνοχῆς τῆς ὀρθόδοξης - θετικιστικῆς ἐρμηνείας δὲν περιορίζεται σ' αὐτὴ τὴν ἀντίφαση. Σύμφωνα μὲ τὴ δεύτερη ἐρμηνεία, τὴν ὁποία θὰ μπορούσαμε νὰ ὀνομάσουμε *ὄντολογικὴ*, τὰ κβαντικὰ σωμάτια εἶναι *κυματοδέσμες*, ἄρα παρουσιάζουν ἕνα εὖρος, τόσο στὸ χῶρο, ὅσο καὶ σὲ σχέση μὲ τὴν ὄρμη. Οἱ ἀνισότητες τοῦ Χάιζενπεργκ μεταφράζουν αὐτὴ τὴν ἐνδογενὴ «ἀβεβαιότητα» τῆς κυματοδέσμης, ἄρα τοῦ *ἑξατομικευμένου* κβαντικοῦ συστήματος.

Ἀλλὰ ποιὸ εἶναι τὸ φυσικὸ νόημα τῆς ἔννοιας τῆς κυματοδέσμης; Τὴν ἔννοια αὐτὴ τὴν εἰσήγαγε ὁ ντὲ Μπρέιγ καὶ τὴ χρησιμοποίησε στὴ συνέχεια ὁ Σραϊντινγκερ, στὴν πρώτη περίοδο τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἀπὸ διδακτικὴ ἄποψη, γράφει ὁ ντὲ Μπρέιγ, ἦταν πολὺ χρήσιμο νὰ χρησιμοποιήσουμε αὐτὴ τὴν εἰκόνα, «ἀλλὰ δὲν εἶναι βέβαιο ὅτι ἀντιστοιχεῖ στὴν πραγματικότητα»¹. Ἐπίσης, κατὰ τὸν Σραϊντινγκερ, τὸ σωμάτιο δὲν μπορούσε νὰ παρασταθεῖ ἰκανοποιητικὰ, στὸ πνεῦμα του, ὅπως καὶ στὸ πνεῦμα τοῦ ντὲ Μπρέιγ, σὰν κυματοδέσμη². Σύμφωνα μὲ τὴν τρέχουσα ἐρμηνεία, ἡ κυματοδέσμη εἶναι μιὰ φυσικὴ πραγματικότητα (ἂν καὶ *μὴ παρατηρήσιμη*), πρᾶγμα πού δὲν ἐμπόδισε τὸν ἴδιο τὸν Μπῶρ νὰ γράψει ὅτι ἕνα σωμάτιο δὲν εἶναι κένταυρος μὲ διπλὴ φύση καὶ νὰ δώσει μιὰ ἀγνωστιστικὴ ἀπάντηση χάρις στὴν «ἀρχὴ» τῆς συμπληρωματικότητας.

1. L. de Broglie, *La physique quantique restera-t-elle indéterministe?* Gauthier-Villars, 1953, σσ. 31-32.

2. E. Schrödinger, στὸ *Louis de Broglie, physicien et penseur*, Albin Michel, 1953.

Ἡ ὀρθόδοξη θέση δὲν εἶναι λογικὰ συνεκτική. Ἄλλὰ καθὼς ἔλεγε ὁ Μπα-σελάρ, ἡ αἰτία τῆς «ἀπροσδιοριστίας» εἶναι σαφῶς καθορισμένη: εἶναι ἡ κβάντιση τῶν ἀλληλεπιδράσεων. Μὲ βάση αὐτὸ τὸ φυσικὸ γεγονός, μπορεῖ πράγματι νὰ δοθεῖ μιὰ στατιστικὴ ἐρμηνεία στὶς ἀνισότητες τοῦ Χάϊζενμπεργκ. Σύμφωνα μὲ αὐτὴ τὴν ἐρμηνεία, οἱ ἀνισότητες αὐτὲς δὲν ἀφοροῦν τὸ ἐξατομικευμένο σωματίο, ἀλλὰ ἓνα στατιστικὸ σύνολο ταυτόσημων σωματίων, πού βρίσκονται στὴν ἴδια κβαντικὴ κατάσταση. Ἐξαιτίας τῆς ἀλληλεπίδρασης τοῦ σωματίου μὲ τὸ περιβάλλον, ἢ μὲ τὸ ὄργανο τῆς μέτρησης, ἀλληλεπίδραση στοχαστικοῦ χαρακτήρα, τὰ συζυγῆ μεγέθη ἐκδηλώνουν στατιστικὲς διασπορὲς πού ἐκφράζονται μὲ τὶς ἀνισότητες τοῦ Χάϊζενμπεργκ. Ἔτσι, ἡ ὑπαρξὴ αὐτῶν τῶν ἀνισοτήτων δὲν ἀποτελεῖ ἐπιχείρημα ἐναντίον τῆς αιτιοκρατίας, ἐπειδὴ οἱ αἰτίες τοῦ φαινομένου ὑπάρχουν καὶ εἶναι γενικὰ γνωστές, καὶ ἐπίσης τὸ φαινόμενο καθορίζεται ἀπὸ τὶς αἰτίες¹.

Ἐντούτοις σύμφωνα μὲ τὴν ὀρθόδοξη - θετικιστικὴ σχολή, ἡ ἀδυναμία νὰ μετρήσουμε μὲ ἀκρίβεια τὴν θέση καὶ τὴν ὀρμὴ τοῦ σωματίου, σημαίνει ὅτι ἡ περιγραφή τῆς κατάστασής του δὲν εἶναι πλήρης, μὲ τὴν ἔννοια τῆς παραδοσιακῆς αιτιοκρατίας. Ἄν δεχτοῦμε τὴν ἀρχὴ τῆς συμπληρωματικότητας (Μπόρ), μποροῦμε νὰ ἔχουμε ἢ μιὰ «αιτιοκρατικὴ» ἢ μιὰ χωροχρονικὴ περιγραφή, ἀλλὰ ὄχι καὶ τὶς δύο ταυτόχρονα. Ἡ κβαντομηχανικὴ περιγραφή εἶναι συνεπῶς πλήρης (ἢ περισσότερο πλήρης πού μπορεῖ νὰ ὑπάρξει) καὶ ὀριστική.

Μιὰ πρώτη ἀντίρρηση στὰ προηγούμενα ἀφορᾷ τὴν «πληρότητα»: Οἱ φυσικοὶ χρησιμοποιοῦν στὴν πράξη χωροχρονικὰ δεδομένα γιὰ νὰ ὑπολογίσουν δυναμικὰ δεδομένα, χωρὶς νὰ νοιάζονται γιὰ τὴν «ἀρχή» τῆς συμπληρωματικότητας. Ἡ δευτέρη καὶ περισσότερο σημαντικὴ ἀντίρρηση, ἀφορᾷ τὸ μηχανιστικὸ πνεῦμα πού ἐνυπάρχει στὴν «ὀρθόδοξη» ἐρμηνεία: Ἄκόμα καὶ ἂν γνωρίζαμε ἀκριβῶς τὴν θέση καὶ τὴν ὀρμὴ τοῦ σωματίου, θὰ ἦταν ἀδύνατο νὰ προβλέψουμε μὲ βεβαιότητα τὸ ἀποτέλεσμα μιᾶς μέτρησης, πού θὰ συνεπαγόταν τὴ δημιουργία μιᾶς νέας κατάστασης. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ δὲν εἶναι γραμμικὸ, δὲν εἶναι μηχανικὸ, καὶ δὲν μπορεῖ νὰ περιγραφεῖ μὲ μηχανικὰ δεδομένα.

2. Ἔτσι φτάσαμε στὸ δεύτερο ἐπιχείρημα τῆς Σχολῆς ἐναντίον τῆς αιτιοκρατίας. Σύμφωνα μὲ τὶς κλασικὲς μορφὲς αιτιοκρατίας, οἱ ἴδιες αἰτίες προκαλοῦν τὰ ἴδια ἀποτελέσματα (Νεύτων). Ἄλλὰ εἶναι γνωστὸ ὅτι συχνὰ στὴ φύση, ὅπως καὶ σὲ ὀρισμένους τύπους μετρήσεων, ἀπὸ μιὰ ἀρχικὴ κβαντικὴ κατάσταση εἶναι δυνατὸν νὰ ληφθοῦν περισσότερες νέες καταστάσεις, σύμφωνα μὲ μιὰ δεδομένη στατιστικὴ κατανομή. (Τὸ ἀρχικὸ καθαρὸ σύνολο μετατρέπεται σὲ μεῖγμα). Κατὰ τὴν ὀρθόδοξη Σχολή, ὁ πιθανοκρατικὸς χαρακτήρας τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς ἀποτελεῖ ἀπόδειξη ὅτι ἡ φύση δὲν σέβεται τὴν ἀρχὴ τῆς αιτιοκρατίας.

1. Γιὰ μιὰ λεπτομερειακὴ ἀνάλυση, βλ. E. Bitsakis, *Le problème du déterminisme en physique*, Thèse, Paris 1976.

Ἄλλὰ ἄς δοῦμε ἀπὸ κοντὰ τὰ πράγματα. Κατὰ τὸν Τζὼν φὸν Νόϋμαν, ὑπάρχουν δύο τύποι ἐξέλιξης τῆς κβαντικῆς κατάστασης. 1) Ἡ «αἰτιακὴ» ἐξέλιξη, ἂν τὸ σύστημα δὲν ὑποστῆ κάποια διαταραχὴ. 2) Ἡ «μὴ αἰτιακὴ» ἐξέλιξη, ἢ ὁποῖα προκαλεῖται ἀπὸ τὴ μέτρηση καὶ ὁδηγεῖ γενικὰ σὲ περισσότερες ἀπὸ μιὰ καταστάσεις, μετασχηματίζοντας μιὰ καθαρὴ κατάσταση σὲ μείγμα. Παρὰ τὸ ὅτι ἡ αἰτία εἶναι γνωστὴ (ἀλληλεπίδραση μὲ τὸ ὄργανο) ὁ μετασχηματισμὸς θεωρεῖται μὴ αἰτιοκρατημένος. Ἄλλὰ ἔχει καὶ χειρότερα: Σύμφωνα μὲ τὴν ἔρμηνεία αὐτῆ, ὁ μετασχηματισμὸς τοῦ κβαντικοῦ συστήματος (ἢ λεγόμενη ἀναγωγὴ τῆς κυματοδέσμης) εἶναι ἀδύνατος. Τὸ σύστημα ποῦ ὑφίσταται τὴ μέτρηση θὰ συνεχίζει νὰ ταλαντεύεται εἰς τὴν αἰωνιότητα, ἀνάμεσα στὶς δυνατὲς καταστάσεις. Μόνη ἢ παρέμβαση ἐνὸς παρατηρητῆ (μιᾶς συνειδήσης) μπορεῖ νὰ προκαλέσει τὴν «ἀναγωγὴ τῆς κυματοδέσμης» καὶ νὰ δημιουργήσῃ μιὰ ἰδιοκατάσταση. Ἄλλὰ ἀκόμα καὶ ὁ παρατηρητὴς, μὲ τὴν παρέμβασή του, θὰ ἀποτελέσει μέρος τοῦ «μεγάλου συστήματος» καὶ θὰ χάσῃ μ' αὐτὸ τὸν τρόπο τὴ μαγικὴ δύναμη τῆς ἀναγωγῆς¹. Ἐδῶ βρίσκεται τὸ κρίσιμο σημεῖο τῆς ἀποτυχίας τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς καὶ τῆς ἀντιαιτιοκρατίας της.

Ἡ ἀντιαιτιοκρατικὴ ἔρμηνεία εἶναι ὑποκειμενικὴ. Ἄντὶ νὰ ἀναγνωρίζῃ τὴν ἀδυναμία τοῦ σημερινοῦ γραμμικοῦ φορμαλισμοῦ νὰ περιγράψῃ ἓνα φαινόμενο μετασχηματισμοῦ τὸ ὁποῖο δὲν εἶναι γραμμικὸ, εἰσάγει, χωρὶς κἀν νὰ δημιουργήσῃ μιὰ τεχνητὴ διέξοδο, τὴ συνειδήση τοῦ παρατηρητῆ, ἢ ὁποῖα εἶναι ἄσχετη μὲ τὸ φαινόμενο. Πράγματι, ἐδῶ πρόκειται γιὰ ἓνα μὴ γραμμικὸ φαινόμενο ποιοτικοῦ μετασχηματισμοῦ, μὴ ἀντιστρεπτό καὶ dissipatif, τὸ ὁποῖο δὲν εἶναι στιγμιαῖο ἀλλὰ ἔχει ἓνα ὀρισμένο χρονικὸ πάχος. Στὴν ἐποχὴ τῆς ἀποκλειστικῆς σχεδὸν κυριαρχίας τῆς θετικιστικῆς σχολῆς δὲν ὑπῆρχε κάποιο ρεαλιστικὸ μοντέλο νὰ ἀνατιπαρατεθεῖ στὸν ὑποκειμενισμό της. Ἄλλὰ σήμερα ὑπάρχουν τέτοια πρότυπα, τὰ ὁποῖα, μὲ τὴν εἰσαγωγὴ συμπληρωματικῶν παραμέτρων, περιγράφουν τὴ λεγόμενη ἀναγωγὴ τῆς κυματοδέσμης σὰν μὴ ἀντιστρεπτό, dissipatif φαινόμενο, μὲ πεπερασμένη διάρκεια.

Ἄλλὰ ἀκόμα καὶ κατὰ τὴν περίοδο τῆς κυριαρχίας τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς, ὑπῆρχαν φυσικοὶ ποῦ ὑπεράσπιζαν τὸ ρεαλισμὸ καὶ τὴν αἰτιοκρατία. Τὸ 1953, ὁ Σαίντιγκερ ἔγραφε ὅτι θὰ ἔπρεπε νὰ δοῦμε τὶς μεταπτώσεις σὰν βραδεῖες-αἰτιοκρατικὲς διαδικασίες, τὶς ὁποῖες θὰ ἦταν δυνατόν νὰ παρακολουθήσουμε χρονικά. Ἐπίσης ὁ Ἀϊνστάϊν ἔγραφε ὅτι ἂν δεχτοῦμε τὴ στιγμιαία κατάρρευση (τῆς κυματοδέσμης), τότε χρειάζομαστε ἓνα εἰδικὸ μηχανισμό δράσης ἀπὸ ἀπόσταση (ἄρα ἐπανερχόμεστε στὴν ἐποχὴ τοῦ Νεύτωνα). Τὴν ἴδια ἐποχὴ διατυπώθηκαν οἱ πρῶτες θεωρίες μὲ λανθάνουσες παραμέτρους. Οἱ Μπῶμ καὶ

1. Βλ., J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton Univ. Press, 1955. Γιὰ μιὰ κριτικὴ ἀνάλυση, βλ. Ε. Bitsakis *An. Fond. Louis de Broglie*, 5, 263 (1980).

2. Βλ., π.χ., Gisin, Piron, *Lett. Math. Phys*, 5, 379 (1981).

Μπάμπ, μεταξύ ἄλλων, ὑποστήριξαν ὅτι μιὰ θεωρία μὲ λανθάνουσες παραμέτρους θὰ μπορούσε νὰ ἐξηγήσει τὴν «κατάρρευση», σὰν αἰτιοκρατικὴ διαδικασία.

Ποιὸ εἶναι λοιπὸν τὸ φυσικὸ νόημα αὐτοῦ τοῦ φαινομένου, τὸ ὁποῖο καλεῖται (χωρὶς οὔτε νὰ περιγράφεται οὔτε νὰ ἐρμηνεύεται) ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης;

Οἱ γραμμικοὶ νόμοι ἐξέλιξης, νόμοι αἰτιοκρατικοί, προϋποθέτουν μιὰ ἰδανικὴ ἀπομόνωση τοῦ φυσικοῦ συστήματος ἀπὸ τὸ περιβάλλον του. Ἡ ἐξέλιξη ἐνὸς ἐλεύθερου κβαντικοῦ σωματίου ἀνήκει σ' αὐτὸ τὸν τύπο. Ἀλλὰ ἡ ἐξέλιξη αὐτὴ εἶναι τυπικὴ, ἐπειδὴ τίποτε δὲν συμβαίνει στὸ σύστημα, κανένα νέο στοιχεῖο δὲν ἀναδύεται ἀπὸ τὸ παιχνίδι τῶν ἀλληλεπιδράσεων σωματίου - περιβάλλοντος. Ὅλα τὰ χαρακτηριστικὰ μεγέθη τῆς κατάστασης διατηροῦνται, καὶ οἱ δυνατότητες τοῦ συστήματος δὲνπραγματώνονται.

Ἡ κατάσταση ἀλλάζει ριζικὰ ἂν ἓνα ὄργανο μέτρησης σπάσει αὐτὴ τὴν ἰδανικὴ ἀπομόνωση, μὲ μιὰ ἐξωτερικὴ διαταραχὴ: ἂν ἀποκατασταθεῖ μιὰ σύζευξη ἀνάμεσα στὸ ὄργανο καὶ στὸ κβαντικὸ σύστημα. Ἐξαιτίας αὐτῆς τῆς σύζευξης, μπορεῖ νὰ πραγματοποιηθεῖ (ὑπὸ ὀρισμένες συνθῆκες) ἓνας ποιοτικὸς μετασχηματισμὸς τοῦ συστήματος: Νέα στοιχεῖα πραγματικότητας ἀναδύονται ἀπὸ τὸ βᾶθος τοῦ πραγματικοῦ» (Χέγκελ) χάρη στὴν ἀλληλεπίδραση, καὶ οἱ δυνατότητες τοῦ συστήματος (καλύτερα: τοῦ στατιστικοῦ συνόλου)πραγματώνονται. Οἱ δυναμικότητες αὐτὲς (ἅρα οἱ δυνατὲς καταστάσεις καὶ οἱ ἀντίστοιχες πιθανότητες) ἐξαρτῶνται: 1) Ἀπὸ τὴ φύση καὶ τὴν κατάσταση τοῦ σωματίου. 2) Ἀπὸ τὴ φύση καὶ τὴν κατάσταση τοῦ ὄργάνου 3) Ἀπὸ τὶς συνθῆκες.

Οἱ νέες καταστάσεις δὲν προκύπτουν ἀπὸ τὸ τίποτα. Τὰ στοιχεῖα πραγματικότητας ποὺ τὶς χαρακτηρίζουν γεννιόνται ἀπὸ τὸ μετασχηματισμὸ στοιχείων πραγματικότητας τῆς παλαιᾶς κατάστασης, ἐξαιτίας τῆς ἀλληλεπίδρασης ἀνάμεσα στὸ σωματίο καὶ στὸ ὄργανο. Ἐδῶ ἐκδηλώνεται γιὰ ἄλλῃ μιὰ φορὰ ἡ διαλεκτικὴ ἀνάμεσα στὸ δυνάμει καὶ στὸ ἐνεργεῖα (ὅπου τὸ πραγματικὸ ἀποτελεῖ, κατὰ τὸν Ἀριστοτέλη, τὸ μέτρο τοῦ δυνάμει). Αὐτὰ τὰ φαινόμενα μετασχηματισμοῦ εἶναι μὴ ἀντιστρεπτά καὶ dissipatifs. Εἶναι διαδικασίες μέσα στὸ χωρὸχρονο καὶ ὄχι στιγμιαῖες (ἢ ἀδύνατες) μεταπτώσεις, ἅρα εἶναι πραγματικὰ φυσικὰ φαινόμενα καὶ ὄχι πλασματικὲς «ἀναγωγές» μιᾶς ὄντοτητας κατεξοχὴν πλασματικῆς. Ἔτσι, τὸ καταστατικὸ διάνυσμα δὲν εἶναι ἓνα λογιστικὸ εὔρημα, ἀλλὰ τὸ μέτρο τῶν δυνατοτήτων τοῦ στατιστικοῦ συνόλου σὶς δοσμένες συνθῆκες. Μὲ τὴν ἴδια ἔννοια, ὁ χῶρος Χίλμπερτ στὸν ὁποῖο ἀνήκει τὸ καταστατικὸ διάνυσμα δὲν εἶναι ὁ χῶρος πραγματικῶν καταστάσεων, ποὺ προϋπάρχουν ἀπὸ τὴ μέτρηση, ἀλλὰ ἓνας δυνάμει χῶρος: ὁ χῶρος τῶν δυνάμει καταστάσεων τοῦ κβαντικοῦ στατιστικοῦ συνόλου.

Μὲ βάση τὴν προηγούμενη ἐρμηνεία, μπορούμε νὰ ὑποστηρίξουμε ὅτι ἡ ἀρχὴ τῆς ἐπαλληλίας, ποὺ ἡ ἰσχὺς της ἀποτελεῖ χαρακτηριστικὸ τῆς κβαντι-

κῆς μηχανικῆς, ἀποτελεῖ τὴν τυπικὴ ἔκφραση τῶν δυναμικότητων τοῦ κβαντικοῦ στατιστικοῦ συνόλου. Ἄρα, οἱ ἰδιοκαταστάσεις ποῦ ἐμφανίζονται στὸ καταστατικὸ διάνυσμα δὲν εἶναι ἐνεργεῖα καταστάσεις, σὲ ἐπαλληλία, ὅπως ὑποστηρίζει συχνὰ ἡ θετικιστικὴ σχολή¹. Ἡ σχολὴ αὐτὴ δὲν μπορεῖ νὰ συλλάβει, μὲ τὶς ἀκαμπτες κατηγορίες τῆς, τὴ διαλεκτικὴ σχέση ἀνάμεσα στὸ δυνάμει καὶ στὸ ἐνεργεῖα, περιορίζοντας ἔτσι τὴ μέτρηση σὲ μιὰ σειρὰ ἀπὸ «ἀναλύσεις» τοῦ καταστατικοῦ διανύσματος, σύμφωνα μὲ τὸ σχῆμα τῆς προκβαντικῆς φυσικῆς (ἀνάλυση κυμάτων σὲ ἐπαλληλία). Ἡ χρῆση τῆς προκβαντικῆς αὐτῆς γλώσσας ἀποτελεῖ ἓνα ἀπὸ τὰ σημάδια τῆς ἀδυναμίας τῆς τυπικῆς λογικῆς νὰ συλλάβει τὸ νέο.

Εἶναι φανερό ὅτι οἱ προηγούμενες διαδικασίες δὲν εἶναι οὔτε ἀναίτιες, οὔτε ἀκαθόριστες. Οἱ αἰτίες εἶναι γνωστὲς - τουλάχιστον στὸ κβαντικὸ ἐπίπεδο - καὶ μὲ βάση αὐτὴ τὴ γνώση μποροῦμε νὰ ὑπολογίσουμε προκαταβολικὰ τὶς δυνατὲς καταστάσεις καὶ τὶς ἀντίστοιχες πιθανότητες. Ἐχομε λοιπὸν ἐδῶ ἓνα νέο τύπο καθορισμοῦ, τὸν κβαντικὸ στατιστικὸ καθορισμό².

Πολλοὶ ρεαλιστὲς φυσικοὶ στὸ μεσοπόλεμο, ὑποστήριζαν τὴν ἰσχὺ τῆς αἰτιοκρατίας στὴ μικροφυσικὴ, ἐναντίον τοῦ κυρίαρχου ἀντιαιτιοκρατικοῦ ρεύματος. Δὲν πρόκειται μόνο γιὰ τοὺς Ἀϊνστάϊν, ντὲ Μπρέϊγ, Σραϊντιγκερ, Πλάνκ, Λαντσεβέν, γιὰ τοὺς σοβιετικὸς καὶ μαρξιστὲς φυσικοὺς, ἀλλὰ καὶ γιὰ φυσικοὺς - ἐπιστημολόγους οἱ ὁποῖοι ἀνέλυσαν τὸν ὑποκειμενικὸ χαρακτήρα τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης. Γιὰ παράδειγμα, ὁ Χ. Μαργκενάου ἔγραφε ὅτι ἡ δῆθεν στιγμιαία ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης, δηλαδὴ «ὁ ἰσχυρισμὸς ὅτι τὸ σύστημα κάνει ἓνα ἄλμα ἀπὸ τὴ μιὰ κατάσταση στὴν ἄλλη, χωρὶς νὰ περνᾷ ἀπὸ τὶς ἐνδιάμεσες καταστάσεις, ὀφείλεται ὀλοκληρωτικὰ σὲ ἐννοιολογικὴ σύγχυση». Καὶ γι' αὐτόν, ἡ μέτρηση εἶναι μιὰ αἰτιοκρατικὴ διαδικασία. Ἐπίσης, «ἡ σχέση ἀνάμεσα στὴν αἰτιότητα καὶ τὴν πιθανότητα δὲν εἶναι μιὰ σχέση ἀντίθεσης, ἀλλὰ συντονισμοῦ. Ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας, ἰδιαίτερα, δὲν ἔχει ἐγκαταληφθεῖ, ἐπειδὴ διέπει τὴ συμπεριφορὰ τῶν καταστάσεων»³.

Θὰ μπορούσαμε ὥστόσο νὰ ποῦμε. Ἄς δεχτοῦμε τὴν αἰτιότητα. Ἄλλὰ ἡ αἰτιοκρατία; Μὲ ποιὸ τρόπο οἱ ἴδιες αἰτίες προκαλοῦν διαφορετικὰ ἀποτελέσματα; Κατὰ τὴ θετικιστικὴ σχολή, ἡ αὐταρχία (ἔλλειψη καθορισμοῦ) εἶναι ἐνδογενὴς στὰ μικροφαινόμενα. Ἀντίθετα μὲ ὅτι συμβαίνει στὴν κλασικὴ στατιστικὴ φυσικὴ, τὸ κβαντικὸ τυχαῖο εἶναι «οὐσιαστικὸ» («μὴ ἀναγώγιμο»), ἐκδῆλωση τῆς ἐσώτερης φύσης τῶν ἔσχατων συστατικῶν τοῦ φυσικοῦ κόσμου.

1. Γράφουμε: $\Psi = \sum_i c_i \Psi_i$, $i = 1, 2, \dots, \eta$. Τὰ Ψ_i εἶναι οἱ δυνάμει καταστάσεις ποῦ πραγματώνονται κατὰ τὴ μέτρηση.

2. Βλ. Ε. Bitsakis. 1) *Le problème du déterminisme.....* δ.π. 2) *Physique et Matérialisme*, δ.π. 3) *Τὰ ἐννοιολογικὰ θεμέλια τῆς Κβαντικῆς Μηχανικῆς*, Ἀθήνα, 1979.

3. Βλ. Η. Margenau, *Physics and Philosophy*, Reidel, 1978, σσ. 33, 36.

Ἄλλὰ πῶς ἐξελίχθηκαν τὰ πράγματα ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τοῦ Μπῶρ καὶ τοῦ Χάιζεμπεργκ;

6. Τοπικότητα καὶ Αἰτιότητα στὴ Φυσικὴ.

Οἱ σχετικιστικὲς θεωρίες εἶναι, ὅπως σημειώσαμε, τοπικὲς θεωρίες. Ἡ κβαντικὴ μηχανικὴ, στὴν πρώτη διατύπωση της, ἦταν μὴ τοπικὴ θεωρία. Ἄλλὰ σύμφωνα μὲ τὸ σχετικιστικὸ πνεῦμα ὀρισμένων τουλάχιστον ἀπὸ τοὺς δημιουργοὺς της (Ἀϊνστάϊν, ντὲ Μπρέιγ, Σραϊντιγκερ), ἐπρόκειτο γιὰ ἀνάγκη τοῦ φορμαλισμοῦ. Ἡ μὴ τοπικὴ αὐτὴ διατύπωση δὲν ἀντιπροσώπευε συνεπῶς παρὰ μιὰ πρώτη προσέγγιση στὴ σχετικιστικὴ φύση τῶν μικροσωματίων. Οἱ σχετικιστικὲς κβαντικὲς θεωρίες, ἄλλωστε, ἐπραγματοποίησαν αὐτὴ τὴ σύνδεση *κλίμακx στὰ κβαντικὰ φαινόμενα καὶ στὴ σχετικιστικὴ τοπικότητα*.

Ἡ κβαντικὴ θεωρία ἀνταποκρίνεται μὲ ἐπάρκεια στὴν περιγραφή τῶν κβαντικῶν φαινομένων. Οἱ προβλέψεις της δὲν διαψεύστηκαν ποτέ. Ὡστόσο τὸ πρόβλημα τῆς πληρότητας τῆς κβαντομηχανικῆς περιγραφῆς τέθηκε ἀπὸ τὴν ἀρχή. Πρῶτος ὁ ντὲ Μπρέιγ ἔδωσε τὸ 1927 μιὰ αίτιοκρατικὴ διατύπωση μὲ λανθάνουσες παραμέτρους (θεωρία τῆς διπλῆς λύσης). Ἐπίσης τὸ 1935 ὁ Σραϊντιγκερ, μὲ τὴ βοήθεια τοῦ περίφημου παραδόξου του, ἔκανε ἀνάγλυφο τὸν ὑποκειμενικὸ χαρακτήρα καὶ τὸ ἀδιέξοδο τῆς ὀρθόδοξης ἐρμηνείας. Τὸ ἴδιο ἔτος, οἱ Einstein, Podolsky καὶ Rosen (EPR) διατύπωσαν τὸ παράδοξό τους, ποὺ ἀμφισβητοῦσε τὴν πληρότητα τῆς κβαντομηχανικῆς περιγραφῆς, ἀνοίγοντας ἔτσι ἓνα νέο δρόμο στὴν ἀναζήτηση θεωριῶν μὲ λανθάνουσες παραμέτρους.

Ἐδῶ δὲν εἶναι ἡ θέση γιὰ νὰ περιγράψουμε τὸ νοητικὸ πείραμα EPR. Ἡ οὐσία του, ἐν πάσει περιπτώσει, εἶναι ἡ ἀκόλουθη: "Ἄν δύο κβαντικὰ σωματῖα ἔχουν ἀλληλεπιδράσει κατὰ τὸ παρελθόν, μποροῦμε, μετρώντας ἓνα στοιχεῖο πραγματικότητας στὸ σωματῖο Α, νὰ προβλέψουμε τὴν τιμὴ τοῦ ἀντίστοιχου στοιχείου πραγματικότητας στὸ Β, χωρὶς νὰ κάνουμε πάνω του μέτρηση. Ἡ σημερινὴ κβαντικὴ μηχανικὴ δὲν ἐξηγεῖ αὐτὴ τὴ συσχέτιση." Ἐτσι, σύμφωνα μὲ τοὺς EPR, δὲν εἶναι πλήρης θεωρία¹.

Στὴν ἄμεση ἀπάντησή του, ὁ Μπῶρ «ἀνασκεύασε» τὴν ἐπιχειρηματολογία τῶν EPR, μὲ βάση τὴν «ἀρχή» τοῦ μὴ διαχωρίσιμου. Σύμφωνα μ' αὐτὴ τὴν ἀρχή, τὰ δύο σωματῖα συνεχίζουν νὰ ἀποτελοῦν ἓνα καὶ μοναδικὸ σύστημα, μὴ διαχωρίσιμο, ἀκόμα καὶ μετὰ τὸ χωρικὸ διαχωρισμό τους². Ἐτσι ἐξηγοῦνται οἱ συσχετίσεις τους καὶ - κατὰ συνέπεια - τὸ παράδοξο εἶναι ἀνύπαρκτο. Ἡ κβαντομηχανικὴ περιγραφή εἶναι πλήρης καὶ ὀριστικὴ, καὶ τὸ ἐρώτημα γιὰ τὶς λανθάνουσες παραμέτρους στερεῖται νοήματος.

Εἶναι ἀλήθεια ὅτι στὰ πλαίσια τοῦ μὴ διαχωρίσιμου, δὲν ὑπάρχει παράδοξο EPR. Ποιὰ εἶναι ὅμως ἡ φύση τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων οἱ ὁποῖες

1. Einstein, Podolsky, Rosen, *Phys. Rev.*, 47, 77(1935).

2. N. Bohr, *Phys. Rev.*, 48, 696(1935).

εξασφαλίζουν τη σταθερή συσχέτιση τῶν σωματίων Α και Β μέσα στο χώρο, ακόμα και μετά το διαχωρισμό τους; 'Ο Μπῶρ δὲν ἀπάντησε ποτὲ σ' αὐτὸ τὸ κρίσιμο ἐρώτημα. Εἶναι ὥστόσο φανερό ὅτι τέτοιες ἀλληλεπιδράσεις πρέπει νὰ εἶναι μὴ τοπικές, ἄρα σὲ ἀντίφαση μὲ τὴν ἀρχὴ τῆς σχετικότητας (μὲ τὴν τοπικότητα). "Αν εἶχε δίκιο ὁ Μπῶρ, θὰ ἔπρεπε νὰ δεχτοῦμε ἕνα νέο σχῆμα φυσικοῦ καθορισμοῦ, πὺ θὰ μᾶς ὀδηγοῦσε ἀναπόφευκτα στὴν ἐποχὴ τοῦ Νεύτωνα.

'Ο 'Αϊνστάϊν δὲν δέχτηκε ποτὲ τὸ μὴ διαχωρισμο. Γι' αὐτὸν ἡ πραγματικὴ κατάσταση τοῦ συστήματος Α εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ τι γίνεται στὸ Β, πὺ εἶναι χωρισμένο ἀπὸ τὸ πρῶτο. 'Ο 'Αϊνστάϊν ὑποστήριξε πάντοτε ὅτι ἡ κβαντικὴ μηχανικὴ δὲν εἶναι πλήρης θεωρία. "Αν ἐπιμένει κανεὶς στὴν ἀντίθετη ἄποψη, ἔγραφε, (θὰ πρέπει νὰ παραδεχτεῖ ὅτι μιὰ μέτρηση στὸ Α τροποποιεῖ βίαια τὴ φυσικὴ πραγματικότητα στὸ Β). Τὸ ἐπιστημονικὸ μου ἔνστικτο, κατέληξε, «ἐξεγείρεται σ' αὐτὴ τὴν ἰδέα».

Μὲ βάση τὴν τοπικότητα τοῦ 'Αϊνστάϊν, θὰ μπορούσαμε νὰ ποῦμε ὅτι τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεων στὸ Α και Β εἶναι συσχετισμένα ἐξαιτίας τῆς κοινῆς ἱστορίας τῶν δύο σωματίων, ἀλλὰ οἱ μετρήσεις οἱ ἴδιες δὲν εἶναι. "Αν τὸ Α πραγματοποιεῖ τὸ στοιχεῖο πραγματικότητας λ_A , αὐτὸ δὲν σημαίνει ὅτι τὸ Β πραγματοποιεῖ αὐτόματα τὸ στοιχεῖο λ_B . 'Απλῶς ἔχει τὴ δυνατότητα νὰ πραγματοποιήσῃ τὸ λ_B , ἂν γίνει σ' αὐτὸ μιὰ κατάλληλη μέτρηση.

'Ο 'Αϊνστάϊν ὑποστήριξε πάντα τὴ ρεαλιστικὴ θέση του, καθὼς και τὴν αὐτιότητα και τὴν τοπικότητα. 'Η ἐρμηνεία τῆς Κοπεγχάγης ἰσοδυναμοῦσε, κατὰ τὴν ἄποψή του, μὲ τὴν ἐγκατάλειψη τῆς τοπικότητας και τὴν εἰσαγωγὴ στιγμαίων δράσεων ἀπὸ ἀπόσταση. 'Επὶ πλέον, ἦταν ἀντιρεαλιστικὴ και ἀντιαιτιοκρατικὴ¹.

'Ὅστοςὸ στὴ δεκαετία τοῦ 30, ὅλοι, ἐκτὸς ἀπὸ μερικοὺς «ἀνένδοτους», ἦταν βέβαιοι ὅτι ὁ 'Αϊνστάϊν εἶχε ἠττηθεῖ ὀριστικὰ ἀπὸ τὸν Μπῶρ. Κατὰ τὴν ἴδια περίοδο ἄλλωστε ὁ φὸν Νόϋμαν εἶχε ἀποδείξει τὸ περίφημο θεώρημα του, κατὰ τὸ ὁποῖο δὲν ὑπάρχουν κβαντικὲς καταστάσεις χωρὶς διασπορὲς και κατὰ συνέπεια ἡ φύση δὲν σέβεται τὴν ἀρχὴ τῆς αὐτιότητας, τουλάχιστο στὸ κβαντικὸ ἐπίπεδο. «Στὰ ὅρια τῶν συνθηκῶν μας, ἔγραφε ὁ φὸν Νόϋμαν, ἡ ἀπόφαση ἔχει ληφθεῖ και εἶναι ἐναντίον τῆς αὐτιότητας, ἐπειδὴ ὅλα τὰ σύνολα ἔχουν διασπορὲς, συμπεριλαμβανομένων και τῶν ὁμογενῶν». 'Ο φὸν Νόϋμαν ἀπέρριπτε ἐπίσης τὴν ὑπόθεση τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων, ἐπειδὴ «τὸ παρὸν σύστημα τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς θὰ ἔπρεπε νὰ εἶναι ἀντικειμενικὰ λανθασμένο, γιὰ νὰ εἶναι δυνατὴ μιὰ περιγραφὴ τῶν στοιχειωδῶν διαδικασιῶν διαφορετικὴ ἀπὸ τὴ σημερινή»².

1. Βλ: 1) Α. Einstein, στὸ *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, Schillp Ed., *The Library of Living Philosophers*, N.Y.1951. 2) Einstein Born, *Correspondance, 1916-1955*, Seuil, 1972. 3) Α. Einstein, στὸ *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*, ὁ. π. 4) Α. Einstein, *Dialectica*, 2, 320(1948).

2. Βλ. J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, ὁ.π. σσ. 206-211 και 295-328.

Ἡ ἀπόδειξη τοῦ φόν Νόουμαν ἦταν μιὰ «αὐστηρή» λογικο-μαθηματικὴ ἀπόδειξη. Ὁ ἴδιος καὶ ὁ Μπίρκωφ εἶχαν ἐπίσης ἀποδείξει τὴ μὴ κλασικὴ δομὴ τῶν προτάσεων τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Οἱ ἀποδείξεις αὐτές, σὲ συνδιασμό μὲ τὶς ἐπιστημολογικὲς ἀναλύσεις τῶν Μπώρ, Χάιζεμπεργκ, καὶ ἄλλων, εἶχαν ὀδηγήσει τὸ σύνολο σχεδὸν τῶν φυσικῶν στὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ «ὀρθόδοξη» ἐρμηνεία ἦταν ἡ μόνη ὀρθή, καὶ ὅτι ὁ ἰντετερμινισμὸς ἦταν ἓνα ἐνδογενὲς χαρακτηριστικὸ τοῦ κόσμου τῆς μικροφυσικῆς.

Ὡστόσο εἶναι γνωστὸ ὅτι κατὰ τὴ δεκαετία τοῦ 50 τὰ πράγματα πῆραν μιὰ ἀπροσδόκητη τροπὴ. Ὁ Ντ. Μπώμ, χωρὶς νὰ γνωρίζει τὴ θεωρία τῆς διπλῆς λύσης τοῦ ντὲ Μπρέιγ (1927), μπόρεσε νὰ διατυπώσει μιὰ θεωρία μὲ λανθάνουσες παραμέτρους (1952) ἡ ὁποία ἔδιδε μιὰ αίτιοκρατικὴ - δυναμικὴ περιγραφή τῆς κίνησης τῶν μικροσωματίων. Οἱ πιθανότητες γίνονται μιὰ ἀναγκαιότητα στὰ πλαίσια αὐτῆς τῆς θεωρίας, καὶ δὲν εἶναι ἐκδήλωση ἐνδογενοῦς ἔλλειψης αίτιοκρατίας.¹

Ἀπὸ τότε διατυπώθηκαν πολλὲς θεωρίες μὲ λανθάνουσες παραμέτρους (Μπώμ, Βιζιέ, Ἀαρόνωφ, κλπ.)². Ἐπίσης τὸ θεώρημα τοῦ φόν Νόουμαν ἀνασκευάσθηκε, ἢ ἀπετέλεσε ἀντικείμενο κριτικῆς ἀπὸ τοὺς ντὲ Μπρέιγ, Λαντέ, Μπέλλ, καὶ ἄλλους φυσικοὺς. Ὡστόσο πολλοὶ λογικοὶ ἔφεραν ἀποδείξεις ἐναντίον τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων, ἐπειδὴ στὴν περίπτωσή αὐτὴ θὰ ἔπρεπε, κατὰ τὴν ἀποψή τους, νὰ ἐνσωματωθεῖ ὀλόκληρο τὸ κβαντικὸ πλέγμα σὲ μιὰ κλασικὴ δομὴ. Ἄλλοι ὅμως λογικοὶ ἀπέδειξαν ὅτι ἐπρόκειτο γιὰ μιὰ πολὺ περιοριστικὴ ἀξίωση, καὶ ὅτι ἡ ὑπαρξὴ θεωριῶν μὲ λανθάνουσες παραμέτρους δὲν ἀφορᾷ παρὰ μόνον μπουέλια ὑποσύνολα τοῦ συνόλου τῶν προτάσεων³.

Ἐντούτοις - τελευταῖο ἐπιχείρημα - οἱ λανθάνουσες παράμετροι, ἔστω καὶ ἂν ὑπάρχουν, δὲν ἐκδηλώνονται, ἐπειδὴ οἱ νέες θεωρίες ἀναπαρήγαγαν τὶς προβλέψεις τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἀλλὰ ὁ Τ.Σ. Μπέλλ ἀπέδειξε (1964) ὅτι μιὰ θεωρία μὲ λανθάνουσες παραμέτρους, ἡ ὁποία προτίθεται νὰ ἀποκαταστήσει, σύμφωνα μὲ τὸ πνεῦμα τῶν EPR, τὴν αίτιότητα καὶ τὴν τοπικότητα στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ, ὀφείλει, ὑπὸ ὀρισμένες συνθῆκες, νὰ ἀντιφάσκει μὲ τὶς στατιστικὲς προβλέψεις τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς⁴. Ἔτσι οἱ θεωρίες μὲ λανθάνουσες παραμέτρους θὰ μπορούσαν νὰ ἐλεγχθοῦν μὲ τὴ βοήθεια τοῦ πειράματος.

Εἶναι γνωστὸ ὅτι ἀπὸ τότε ἔγιναν πολλὰ πειράματα καὶ ὅτι σχεδὸν ὅλα εἶναι ὑπὲρ τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, καὶ ἐναντίον τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Μπέλλ.

1. D. Bohm, *Phys. Rev.*, 85, 166 καὶ 180 (1952).

2. Βλ. π.χ. Louis de Broglie. 1) *La physique quantique restera-t-elle indéterministe?* ὁ.π. 2) *Introduction a la nouvelle théorie des particules, de M. Jean-Pierre Vigiér et de ses collaborateurs*, Gauthier-Villars, 1961.

3. Γιὰ μιὰ λεπτομεριακὴ ἀνάλυση, βλ. E. Bitsakis, *Le problème du déterminisme...* ὁ.π., κυρίως κεφ. 10.

4. J. S. Bell. *Physics*, 1. 195 (1964). *Rev. Mod. Phys.*, 38, 447 (1966).

Έτσι, μποστά στὸ σχεδὸν βεβαιωμένο γεγονός, ὅτι τὸ πείραμα σέβεται τίς κβαντομηχανικὲς προβλέψεις, ἀνάμεσα στοὺς φυσικοὺς διαμορφώνονται οἱ ἀκόλυθες κύριες τάσεις:

1. Πολλοὶ φυσικοὶ ἐρμήνευσαν τῇ διάψευση τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Μπέλλ σὰν διακαίωση τῶν ἰδεῶν τοῦ Μπῶρ, καὶ ἰδιαίτερα σὰν ἐπιβεβαίωση τοῦ μὴ διαχωρήσιμου. Ἔτσι ἡ ὀρθόδοξη σχολὴ μοιάζει νὰ ἀποκτᾶ μιὰ νέα νέα πνοή, στὴν περίοδο αὐτή, ὅταν εἶναι ἐκδηλῆ ἡ διαδικασία τῆς ἀποσύνθεσής της. Ἀλλὰ ἀποδοχὴ τοῦ μὴ διαχωρήσιμου τοῦ Μπῶρ σημαίνει ἀποδοχὴ καὶ τοῦ ἀντιρεαλισμοῦ καὶ τοῦ ἰντετερμινισμοῦ τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς. Ἐπὶ πλέον, θὰ πρέπει νὰ διατυπωθεῖ μιὰ σαφῆς θέση γιὰ τὴ φύση τῶν ἀλληλεπιδράσεων ποὺ ἐξασφαλίζουν τὸ μὴ διαχωρήσιμο τῶν σωματίων EPR.

2. Ἀπὸ τῆ διάσπαση τῆς παλαιᾶς σχολῆς ντὲ Μπρέιγ, πρόκυψε ἐπίσης μιὰ ἄλλη τάση (Μπῶμ, Βιζιέ) ἡ ὁποία θέλει νὰ σώσει τὸ ρεαλισμὸ καὶ τὴν αἰτιοκρατία, ἐγκαταλείποντας γι' αὐτὸ τὴν τοπικότητα. Ἔτσι δέχεται τὴν ὑπαρξὴ ὑπερφωτεινῶν ἀλληλεπιδράσεων, οἱ ὁποῖες ἐξασφαλίζουν τὴν αἰτιακὴ σύνδεση τῶν σωματίων A καὶ B, χωρὶς τὴ μεταφορὰ σήματος. Ἔτσι ἡ ἀρχὴ τῆς σχετικότητας γίνεται σεβαστὴ (δὲν ὑπάρχει μεταφορὰ ἐνέργειας). Ὡστόσο ἡ φύση αὐτῶν τῶν ἀλληλεπιδράσεων εἶναι ἄγνωστη (πρόκειται γιὰ ἀλληλεπιδράσεις *ad hoc*). Ἐπίσης μπορεῖ κανεὶς νὰ διερωτηθεῖ μὲ ποῖο τρόπο ἓνα κύμα φάσεως τὸ ὁποῖο δὲν μεταφέρει ἐνέργεια, μπορεῖ νὰ προκαλέσει παρατηρήσιμα φαινόμενα.

3. Ἡ τρίτη τάση θέλει νὰ σώσει τὴν αἰτιοκρατία καὶ τὴν τοπικότητα. Σύμφωνα μὲ ὀρισμένους συγγραφεῖς αὐτῆς τῆς τάσης, οἱ συνέπειες τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Μπέλλ δὲν ἀφοροῦν κάθε τοπικὴ - αἰτιοκρατικὴ θεωρία. Ἔτσι, πειράματα ὅπως τοῦ Aspect, δὲν συνιστοῦν ἀνασκευὴ τῆς τοπικότητας τοῦ Ἀϊστάιν¹. Ἐπίσης, σύμφωνα μὲ τοὺς ντὲ Μπρέιγ, Λοσάκ, καὶ ἄλλους, οἱ φυσικὲς προϋποθέσεις τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Μπέλλ δὲν εἶναι σύμφωνες μὲ τὴ φύση τῶν μικροσωματίων, ἄρα οἱ ἀνισότητες αὐτὲς πρέπει νὰ παραβιάζονται. Πράγματι, ἀν τὰ δύο σύνολα λανθανουσῶν παραμέτρων ποὺ δέχεται ὁ Μπέλλ γιὰ τὴν παραγωγὴ τῶν ἀνισοτήτων του, θεωρήθηκαν ἀνεξάρτητα, τότε ἔχουμε ἐδῶ μιὰ κλασικὴ συνθήκη ἡ ὁποία, προφανῶς, δὲν γίνεται σεβαστὴ ἀπὸ τὴν κβαντικὴ μηχανικὴ. Ἔτσι οἱ ἀνισότητες τοῦ Μπέλλ θὰ πρέπει νὰ διαψεύδονται². Τέλος, σήμερα ὑπάρχουν τοπικά, αἰτιοκρατικά (καὶ ρεαλιστικά), πρότυπα, ποὺ οἱ προβλέψεις τοὺς εἶναι σύμφωνες μὲ τίς προβλέψεις τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Τὰ πρότυπα αὐτὰ δὲν ἀνασκευάζονται ἀπὸ τὴν παραβίαση τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Μπέλλ³.

1. Βλ. π.χ., J. D. Angelidis, *Phys. Rev. Lett.*, 51, 1819(1983).

2. Βλ. π.χ., E. Bitsakis, «Is it possible to save Causality and Localitiy in Quantum Mechanics?», στὸ *Open Questions in Quantum Mechanics*, Reidel, 1984.

3. Βλ. π.χ. Marshall, Santos, Selleri, *Phys. Lett.* 98A, 5(1983).

Πολλοί από τους αντιπάλους των θεωριών με λανθάνουσες παραμέτρους (και ανάμεσά τους όρισμένοι μαρξιστές) διατύπωσαν την επίκριση ότι αυτό το είδος οι θεωρίες επιζητούν να αποκαταστήσουν τη λαπλασιανή αίτιοκρατία στη μικροφυσική, άρα ότι αντιπροσωπεύουν ένα είδος παλινδρόμησης, επειδή θέλουν να αποκαταστήσουν ένα είδος καθορισμού όριστικά ξεπερασμένου. Το επιχείρημα αυτό είναι προϊόν άγνοιας και σύγχισης. Οι θεωρίες με λανθάνουσες παραμέτρους δέχονται τη μη πληρότητα της σημερινής κβαντικής μηχανικής και προτείνουν μια δυναμική περιγραφή όρισμένων στοχαστικών φαινομένων του κβαντικού επιπέδου. Κι' ακόμα: Γιατί μια θεωρία με λανθάνουσες παραμέτρους, θα πρέπει να είναι αίτιοκρατική, με τη δυναμική έννοια του όρου; Μια τέτοια θεωρία μπορεί να είναι πιθανοκρατική, με τον όρο ότι προβλέπει και εισάγει νέες μεταβλητές, και δίδει μια πληρέστερη τοπική περιγραφή απ' ότι η συνήθης κβαντική μηχανική. Τέτοιες θεωρίες μπορούν να εξηγήσουν τα άποτελέσματα του πειράματος Aspect, χωρίς έγκατάλειψη της αίτιοκρατίας και της τοπικότητας¹. Έτσι το πρόβλημα των λανθανουσών παραμέτρων αποδεσμεύεται από τους περιορισμούς μιάς δυναμικής - αίτιοκρατικής περιγραφής και αποκτά μια νέα ευστότητα: ταυτίζεται με το πρόβλημα της διατύπωσης μιάς μικροφυσικής θεωρίας, ή όποια θα ξεπερνούσε τα ιστορικά όρια της σημερινής.

Τελικά, δέν υπάρχει κβαντικός έντετερομνισμός. Στην περιοχή αυτή βρισκόμαστε μπροστά σε μια νέα μορφή αίτιοκρατίας, περισσότερο λεπτής και εύλογιστης, απ' ότι η δυναμική αίτιοκρατία. 'Ολόκληρη η αντιαιτιοκρατική επιχειρηματολογία στηρίζεται συνεπώς σε ένα έπιστημολογικό σφάλμα: στην ταύτιση της αίτιοκρατίας με τη μηχανιστική μορφή της, και στην απόρριψη αυτής της αρχής, από τη στιγμή που η ειδική αυτή μορφή αποδείχτηκε ανεπαρκής μπροστά στις νέες πραγματικότητες του κόσμου της μικροφυσικής.

'Ο έπιστημολογικός ρεαλισμός και η αίτιοκρατία είναι άφετηριακές αρχές για όποιαδήποτε μαρξιστική ανάλυση της κατάστασης στην κβαντική μηχανική. 'Η τοπικότητα δέν αποτελεί μια τέτοια αρχή. 'Εντούτοις η τοπικότητα αποτελεί ένα σχετικιστικό αίτημα, σύμφωνο με όλα τα δεδομένα της σημερινής φυσικής. Κατέχει συνεπώς το status έπιστημονικής έννοιας. Το μη διαχωρήσιμο, αντίθετα, είναι μια υπόθεση *ad hoc*, ή όποια αντιφάσκει με την αρχή της σχετικότητας. Δέν μπορεί συνεπώς να κατέχει το status έπιστημονικής έννοιας. Πρόκειται για ουσιαστική διαφορά, άρα για ένα επί πλέον επιχείρημα υπέρ της τοπικότητας.

Τελικές παρατηρήσεις

'Επιχειρήσαμε να περιγράψουμε τις διάφορες μορφές αίτιοκρατίας. 'Ακολουθώντας την εξέλιξη της φυσικής, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η έμ-

1. F. Selleri, ιδιωτική άνακοίνωση.

φάνιση τῶν νέων, ὄλο καὶ πιδ σύνθετων καὶ οὐσιαστικῶν μορφῶν, συμπίπτει μετὶς μεγαλύτερες ἐπαναστάσεις ποὺ σημάδεψαν τὴν ἱστορία αὐτῆς τῆς ἐπιστήμης.

Ἐνα πρῶτο συμπέρασμα, τὸ ὁποῖο ἐπιβεβαιώνει τὶς ἀναλύσεις τῶν κλασικῶν τοῦ μαρξισμού, εἶναι ὅτι ἡ κατηγορία τῆς αἰτιότητας ἀποτελεῖ μιὰ ἀπὸ τὶς στιγμὲς τῆς ἀμοιβαίας σύνδεσης καὶ τοῦ ἀμοιβαίου καθορισμοῦ τῶν φαινομένων. Ἡ κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης, θεμελειώδης μαρξικὴ κατηγορία, λειτουργεῖ σὲ ἓνα ἄλλο θεωρητικὸ ἐπίπεδο, σὰν ἡ κεντρικὴ ἔννοια τῶν φυσικῶν θεωριῶν. Ταυτόχρονα, ἡ προηγούμενη ἀνάλυση ἐπεχείρησε νὰ θεμελιώσῃ τὴ μαρξιστικὴ θέση, κατὰ τὴν ὁποία ἡ αἰτιότητα εἶναι ὄντολογικὴ καὶ ὄχι μόνο ἐπιστημολογικὴ κατηγορία.

Μιὰ δευτέρη διαπίστωση ποὺ ἐπιβάλλεται, ἀφορᾷ τὴν ἱστορικότητα τῶν κατηγοριῶν τῆς αἰτιότητας καὶ τῆς αἰτιοκρατίας (καθορισμοῦ). Οἱ κατηγορίες αὐτὲς δὲν εἶναι *a priori*. Δὲν εἶναι συμβάσεις. Διαμορφώθηκαν μέσα ἀπὸ τὴν πρακτικὴ, σὰν στιγμὲς τῆς θεωρητικοποίησής της. Ἔτσι, τὸ περιεχόμενο καὶ ἡ μορφή τους μεταβάλλονται μέσα στὴν ἱστορία.

Ἡ ταύτιση τῆς ἀλληλεπίδρασης μετὰ μιὰ δύναμη μετὰ ἄπειρη ταχύτητα, ἀντιστοιχεῖ στὴ μηχανιστικὴ ἀντίληψη τῆς αἰτιοκρατίας. Ὁ Ἐνγκελς ἐπέκρινε αὐτὴ τὴν ἀντίληψη. Ἡ διατύπωση τῶν σχετικιστικῶν θεωριῶν, ἄρα ἡ κατάργηση τῆς στιγμιαίας δράσης ἀπὸ ἀπόσταση καὶ ἡ ἀνάδειξη τῆς ἀλληλεπίδρασης σὰν διαταραχῆς ἢ ὁποία διαδίδεται μετὰ πεπερασμένη ταχύτητα, ἀπέδειξε ὅτι τὰ φυσικὰ φαινόμενα εἶναι ἀποτέλεσμα μὴ ἀντιστρεπτῶν διαδικασιῶν καθορισμοῦ, πεπερασμένης διάρκειας. Ἡ μὴ ἀντιστρεψιμότητα δίδει συγκεκριμένο περιεχόμενο στὴν κατηγορία τῆς ποιοτικῆς ἀλλαγῆς. Συνολικὰ, οἱ σχετικιστικὲς θεωρίες ἑναρμονίζονται μετὰ τὴν ὑλιστικὴ - διαλεκτικὴ ἀντίληψη τῶν φυσικῶν φαινομένων. Ἡ δυναμικὴ μορφή αἰτιοκρατίας ἔδειξε ταυτόχρονα τὰ ὅρια τῆς μηχανιστικῆς αἰτιοκρατίας. Ἡ τεράστια περιοχὴ τῆς ἰσχύος της καὶ τὸ κῦρος τῶν σχετικιστικῶν θεωριῶν, συνέβαλαν στὴν ἐνίσχυση τοῦ ὑλιστικοῦ ρεύματος, ἐναντίον τοῦ συμβατισμοῦ τοῦ θετικισμοῦ.

Ἡ χβαντικὴ μηχανικὴ ἀντίθετα, ὑπῆρξε τὸ ἀφετηριακὸ σημεῖο τοῦ μεγάλου κύματος τοῦ ἰντετερμινισμοῦ γιὰ τὸ ὁποῖο μιλήσαμε. Ὡστόσο ἐπιχειρήσαμε νὰ δείξουμε ὅτι ὁ δῆθεν ἰντετερμινισμὸς ἀποτελεῖ προῖον τῆς στενότητος ποὺ χαρακτηρίζει τὴ θετικιστικὴ καὶ τὴν πνευματοκρατικὴ σκέψη. Ἡ διαλεκτικὴ τῆς ἀναγκαιότητας καὶ τοῦ τυχαίου, ἀντίθετα, μᾶς δίδει τὰ μέσα νὰ κατανοήσουμε τὴν κατάσταση στὴν χβαντικὴ μηχανικὴ. Οἱ νόμοι τοῦ τυχαίου δὲν ἀποτελοῦν ἐπιχείρημα ἐναντίον τῆς αἰτιοκρατίας, ἐπειδὴ τὸ τυχαῖο δὲν εἶναι ἡ ἄρνηση τῆς αἰτιότητας καὶ τοῦ καθορισμοῦ (αἰτιοκρατίας), ἀλλὰ ἡ διαλεκτικὴ ἄρνηση τῆς ἀναγκαιότητας: τὸ τυχαῖο μεταμορφώνεται, ὑπὸ ὀρισμένες συνθῆκες, σὲ ἀναγκαιότητα· ἀντίστροφα, ἓνας τεράστιος ἀριθμὸς αἰτιοκρατημένων συμβάντων, μπορεῖ νὰ ἀποτελεῖ τὴ βάση τοῦ στατιστικοῦ νόμου.

Τὸ τυχαῖο ἀποτελεῖ ὄντολογική, καὶ τυτὸχρονα γνωσιολογική κατηγορία. Ἔτσι μπορούμε νὰ διατυπώσουμε τὴ θέση ὅτι στὴν περιοχή τῆς μικροφυσικῆς λειτουργεῖ μιὰ νέα μορφή καθορισμοῦ, περισσότερο πλούσιου καὶ πολυδύναμου. Μπορούμε ταυτόχρονα νὰ θέσουμε τὸ ἐρώτημα γιὰ μιὰ ἐνδεχόμενη ἀναγωγή τῶν κβαντινῶν νόμων, σὲ νόμους δυναμικοῦ τύπου. Ἔτσι, τὸ ἐρώτημα γιὰ τίς λανθάνουσες παραμέτρους δὲν εἶναι μὴ νόμιμο, ἀπὸ τὴν ἀποψη τοῦ διαλεκτικοῦ ὕλισμοῦ.

Ἄλλὰ μιὰ θεωρία μὲ λανθάνουσες παραμέτρους δὲν σημαίνει οὔτε τὴν παλινόρθωση τῆς λαπλασιανῆς - μηχανικῆς αίτιοκρατίας, οὔτε τὴν ὑποχρεωτικὴ ἀποκατάσταση μιᾶς μορφῆς δυναμικῆς αίτιοκρατίας. Θεωρίες μὲ λανθάνουσες παραμέτρους μπορεῖ νὰ εἶναι πιθανοκρατικές, ἐνῶ ταυτόχρονα θὰ δίνουν μιὰ πληρέστερη περιγραφή ἀπὸ τὴν τωρινὴ θεωρία. Ἔτσι ἡ ἀναζήτηση τῶν λανθάνουσῶν παραμέτρων ἀπευλευθερώνεται ἀπὸ τοὺς περιορισμοὺς τῆς δυναμικῆς περιγραφῆς, καὶ μπορεῖ νὰ ταυτισθεῖ μὲ τὴν ἀναζήτηση νέων καθορισμῶν ποὺ λειτουργοῦν στὸ κβαντικὸ ἢ στὸ ὑποκβαντικὸ ἐπίπεδο.

Ἄλλὰ καθὼς σημειώσαμε, ἡ ἀναζήτηση τέτοιων θεωριῶν ὀδήγησε στὴν ἀμφισβήτηση τῆς ἰσχύος τῆς τοπικότητας. Σὲ σχέση μὲ αὐτὸ τὸ πρόβλημα ἐπιβάλλονται δύο παρατηρήσεις. Ἡ αίτιότητα καὶ ἡ αίτιοκρατία εἶναι ἀρχές γιὰ τὸ διαλεκτικὸ ὕλισμό. Ἡ ἐξέλιξη τῆς φυσικῆς ἀπέδειξε τὸ εὖρος καὶ τὴν πολυμορφία τῆς ἰσχύος τους. Ἐπίσης εἶναι ἀξιοσημείωτο ὅτι πρῶτοι οἱ μαρξιστές ἀπέδειξαν τὴ στενότητα τῆς ἀντιαιτιοκρατικῆς θέσης. Ἡ τοπικότητα, ἀντίθετα, δὲν κατέχει τὸ status ἀρχῆς γιὰ τὸ διαλεκτικὸ ὕλισμό. Εἶναι γεγονός ὅτι ἡ τοπικότητα τῶν σχετικιστικῶν θεωριῶν εἶναι σύμφωνη μὲ τὴ μαρξιστικὴ ἀντίληψη γιὰ τὰ φαινόμενα, σὰν μὴ ἀντιστρεπτές διαδικασίες ποὺ πραγματοποιοῦνται στὸ χωρόχρονο. Ἄλλὰ ὁ μαρξισμὸς δὲν συνδέεται μὲ τούτη ἢ ἐκείνη τὴ μορφή τοπικότητας. Ὁ διαλεκτικὸς ὕλισμὸς δὲν προτίθεται νὰ ἐπιβάλλει μιὰ εἰδικὴ μορφή τοπικότητας στὶς ἐπιστῆμες. Οἱ Ἐνγκελς καὶ Λένιν ἦταν οἱ πρῶτοι ποὺ ἐπέσημαναν τὸ σχετικὸ χαρακτήρα τῶν ἐνοπιῶν τῆς φυσικῆς. Ἔτσι, ἕνα σωματίο χωρὶς μᾶζα μπορεῖ νὰ εἶναι ἐξίσου ὕλικὸ μὲ ἕνα μαζικὸ σωματίο, ἐπειδὴ ἡ μοναδικὴ «ιδιότητα» τῆς ὕλης, σὰν φιλοσοφικῆς κατηγορίας, εἶναι τὸ ὅτι ἀποτελεῖ μιὰ πραγματικότητα ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ ὑποκείμενο (Λένιν). Ἀντίστοιχα, θὰ μπορούσε νὰ γίνῃ δεκτὴ μιὰ γενικευμένη τοπικότητα, ποὺ ἐξασφαλίζεται μὲ τὸ διάμεσο ὑπερφωτεινῶν, ἀλλὰ πεπερασμένων ταχυτήτων. Τὸ ὄριο τῶν σχετικιστικῶν ταχυτήτων δὲν ἀποτελεῖ ὑποχρεωτικὰ ἕνα ἀπόλυτο ἄνωτερο ὄριο γιὰ τίς φυσικὲς ταχύτητες. Ἄλλὰ ἐπὶ τοῦ παρόντος, ἡ σχετικιστικὴ τοπικότητα εἶναι σύμφωνη μὲ τὴν ταχύτητα διάδοσης ὄλων τῶν γνωστῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

FORMES DE DÉTERMINISME PHYSIQUE RESUMÉ

L'objectif de ce texte est de faire une analyse des formes de déterminisme dans le domaine de la physique. Après une brève analyse comparée des deux conceptions opposées sur la causalité et le déterminisme (celles du positivisme et du matérialisme) on fait un effort de dégager les caractéristiques essentielles des formes de déterminisme en physique.

On identifie souvent la causalité et le déterminisme. Or, une distinction entre ces deux concepts est nécessaire pour comprendre la situation actuelle en physique. La conception mécaniste de la causalité et du déterminisme est érigée sur un certain nombre de présupposés ontologiques (matière constituée d'atomes compactes et inertes, espace euclidien absolu, temps universel, interactions à vitesse infinie). La formulation des théories classiques du champ (électromagnétisme et théorie de la gravitation d'Einstein) a démontré les limites historiques de cette conception. Le déterminisme dynamique, qui se manifeste dans ces domaines, présuppose la qualité et la naissance du nouveau, par la médiation d'interactions qui se propagent à vitesse finie, dans un espace qui n'est plus euclidien.

Mais la physique connaissait déjà de lois statistiques, qui ont été interprétées, dans l'esprit mécaniste, en tant qu'expression de notre ignorance (relative, bien sûr). Par l'introduction de variables supplémentaires (les variables cachées classiques) on croyait à la possibilité d'une description déterministe-mécaniste du mouvement des particules. Or, la mécanique quantique, théorie foncièrement statistique, a bouleversé la problématique sur la causalité et le déterminisme. Selon les analyses de von Neumann, Bohr et plus généralement de l'École de Copenhague, le hasard en microphysique est irréductible, expression du fait que la nature ne respecte pas le principe de la causalité. La différence entre le treillis des propositions classiques (booléen) et quantiques (non booléen) était un argument supplémentaire en faveur de l'indéterminisme.

Pourtant le courant réaliste (Einstein, de Broglie, Schrödinger, et autres) a essayé de restituer le déterminisme dynamique en microphysique (théorie de la double solution, paradoxe EPR, paradoxe de Schrödinger, théorie de Bohm etc.). La formulation des inégalités de Bell (1964) a marqué un tournant décisif concernant la question des variables cachées locales, car l'existence de telles variables devait falsifier, dans certains cas, les prévisions de la mécanique quantique. Or, l'expérience a vérifié les prévisions de la mécanique quantique, d'où, une nouvelle crise concernant le caractère local et déterministe de la microphysique.

Devant les faits nouveaux, on peut constater l'existence de trois courants différents: 1) Le courant indéterministe, avec une composante mystique. 2) Le courant réaliste et déterministe qui abandonne la localité, pour sauver le déterminisme. 3) Le courant qui veut sauver la localité et la causalité, contre les inégalités de Bell.

Selon la thèse du présent texte, il n'y a pas d'indéterminisme en microphysique. Dans ce domaine nous sommes en présence d'un nouveau type de déterminisme, le déterminisme statistique quantique. En effet, la causalité est valable en microphysique car il y a des causes et nous connaissons au moins certaines entre elles. Aussi il y a une détermination des effets par les causes et sur la base de cette détermination nous pouvons calculer d'avance les probabilités des états possibles. La distribution des probabilités est la mesure des potentialités de l'ensemble statistique dans des conditions externes données. Par conséquent, le vecteur d'état est la mesure de ces potentialités. L'indéterminisme de l'École de Copenhague est fondé sur une conception mécaniste de la causalité et du déterminisme et sur une interprétation essentiellement non statistique du vecteur d'état. (La superposition ne concerne pas des états réels, superposés; elle est une mesure des potentialités de l'ensemble statistique). Ainsi le hasard en microphysique n'est, ni subjectif, ni irréductible, mais l'expression des potentialités multiples de l'ensemble quantique, potentialités déterminées par la nature du système et les conditions.

On sait que la validité des inégalités de Bell est contestée aujourd'hui de plusieurs points de vue. Aussi, une théorie à variables cachées locales ne doit pas être, obligatoirement, de caractère dynamique. Des théories à variables cachées probabilistes ont été proposées et de telles théories sont d'accord avec le point de vue, selon lequel les lois du hasard constituent la forme la plus générale de loi physique. De telles théories ne tombent pas sous le coup du théorème de von Neumann, ni des objections des logiciens concernant la structure des propositions quantiques. De telles théories sont différentes, du point de vue épistémologique, de la mécanique quantique actuelle, et en même temps elles concrétisent la thèse selon laquelle les lois du hasard ne constituent la négation ni de la causalité, ni du déterminisme.