

Ο νέος νόμος της βαρύτητας δέν είναι μόνον ανεξάρτητος από τό σύστημα αναφορᾶς, ἀδρανειακό ἤ μή. Ταυτόχρονα καταργεῖ τό τελευταῖο κατάλοιπο τῆς μηχανιστικῆς φυσικῆς - τή δύναμη τῆς βαρύτητας - ἀπορροφώντας την σέ μιά γεωμετρική δομή μεταβλητῆς μορφῆς. Ἀντίθετα μέ τό χῶρο τοῦ Minkowski, ὁ χῶρος τῆς γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας εἶναι ἕνα εἶδος τετραδιάστατου συνεχοῦς, μέ μετρική, ἄρα καί καμπυλότητα, ἣ ὁποία εἶναι συνάρτηση τῆς κατανομῆς τῶν μαζῶν. Ὡς συγκεκριμένα, ἡ μετρική αὐτή ἐξαρτᾶται ἀπό τήν κατανομή τῶν δυναμικῶν τῆς βαρύτητας, πού μέ τή σειρά τους καθορίζονται ἀπό τήν κατανομή τῆς ὕλης. Ἐτσι ἡ ἀλληλεπίδραση δέν εἶναι ἐξωτερική ὡς πρὸς τό χῶρο, ὅπως οἱ κλασικές δυνάμεις, ἤ ὅπως ἡ ἠλεκτρομαγνητική ἀλληλεπίδραση στό χῶρο τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας.

Ἡ γενική θεωρία τῆς σχετικότητας, σά φυσική θεωρία πού τό συγκεκριμένο της περιεχόμενο εἶναι ἡ βαρυτική ἀλληλεπίδραση, οὐσιαστικοποίησε τήν ἐνότητα τοῦ χῶρου, τοῦ χρόνου, τῆς ὕλης καί τῆς κίνησης, στά πλαίσια ἐνός τετραδιάστατου συνεχοῦς, τοῦ ὁποίου ἡ μετρική, καί συνεπῶς ἡ μορφή, καθορίζεται ἀπό τήν ἔνταση τοῦ δυναμικοῦ τῆς βαρυτικότητας, ἄρα ἀπό τήν κατανομή τῆς ὕλης στό χωρόχρονο. Ἡ καμπυλότητα μεταβάλλεται ἀπό σημεῖο σέ σημεῖο τοῦ συνεχοῦς. Ἀκόμα καί γιά τό ἴδιο σημεῖο ἡ καμπυλότητα μεταβάλλεται μέ τό χρόνο, σέ συνάρτηση μέ τίς μεταβολές τοῦ δυναμικοῦ τῆς βαρυτικότητας. Ἐτσι τά «μήκη» μεταβάλλονται ὄχι μόνον ἀπό τό ἕνα σημεῖο στό ἄλλο, ἀλλά καί γιά τό ἴδιο σημεῖο, σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο. Ὅμοια τά «ρολόγια» προχωροῦν μέ διαφορετικούς ρυθμούς ἀπό τό ἕνα σημεῖο στό ἄλλο, ἀκόμα καί γιά τό ἴδιο σημεῖο, σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο. Ἀλλά ἡ γενική αὐτή σχετικότητα τῶν μεγεθῶν δέν εἶναι παρά ἡ ἄλλη ὄψη μιᾶς γενικῆς συμμεταβλητότητας, δηλαδή ἀμεταβλητότητας τῆς μορφῆς καθῶς καί τῶν ἀντίστοιχων φυσικῶν μεγεθῶν, ἄρα ἀντικειμενικότητας, ἣ ὁποία ἐπιτεύχθηκε μέ τή μελέτη τῆς βαρυτικῆς ἀλληλεπίδρασης.

2.5. Ἡ κβάντωση τῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Οἱ ἠλεκτρομαγνητικές καί βαρυτικές ἀλληλεπιδράσεις θεωροῦνται συνεχεῖς στά πλαίσια τῶν κλασικῶν θεωριῶν τοῦ πεδίου (προ-σχετικιστικῶν ἤ σχετικιστικῶν). Ἡ προ-σχετικιστική καί ἡ σχετικιστική φυσική (ἠλεκτρομαγνητισμός, θεωρία τῆς βαρύτητας) εἶναι λοιπόν ἡ φυσική τοῦ συνεχοῦς. Ἡ μαθηματική της δομή, καθῶς καί τά μαθηματικά μέ τά ὁποία ἐκφράζονται οἱ νόμοι της (κλασική ἀνάλυση,

διανυσματικός και τανυστικός λογισμός, κλπ.) αποτελούν, από την πλευρά τους, μία άλλη έκφραση της συνέχειας.

Είναι ωστόσο γνωστό ότι ο Planck μπόρεσε να συμφιλιώσει τό 1900 τη θεωρία με τό πείραμα, υποθέτοντας ότι ή ήλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται με τρόπο *άσυνεχῆ*. Είναι επίσης γνωστό ότι πέντε χρόνια αργότερα ο Einstein έρμήνευσε ώρισμένα κρίσιμα φαινόμενα, δεχόμενος ότι ή ακτινοβολία αυτή διαδίδεται επίσης κατά διάκριτες ποσότητες, τά *φωτόνια*. Αυτό υπήρξε ή άφετηρία της φυσικής του άσυνεχούς, που άνέτρεψε τίς άντιλήψεις για τη δομή της ύλης και για τούς φυσικούς νόμους. Καί αυτή επίσης ή άναστάτωση ξεκίνησε από την πειραματική και τη θεωρητική μελέτη μιās άλληλεπίδρασης: της ήλεκτρομαγνητικής.

Ή κβάντωση τών άλληλεπιδράσεων (ή της ένέργειας που μετρά την έντασή τους) ώδήγησε σε μιá νέα εικόνα της πραγματικότητας. Οί κβαντικές έννοιες εισάχθηκαν στη φυσική του άτόμου από τόν Niels Bohr. Λίγα χρόνια αργότερα διαμορφώθηκε ή κβαντική μηχανική, που σημαδεύει μιá ποιοτική άλλαγή στην ιστορία της έπιστήμης. Ή κβάντωση και τών άλλων άλληλεπιδράσεων (ίσχυρων και άσθενών) γενίκευσε τόν άσυνεχῆ χαρακτήρα της νέας φυσικής. Οί θεωρίες του άτόμου, του πυρήνα, του στερεού σώματος, τών στοιχειωδών σωματίων, με δύο λόγια όλόκληρη ή μικροφυσική, οίκοδομήθηκε με άφετηριακό σημείο την κβάντωση τών άλληλεπιδράσεων. "Ένα έλεύθερο σωματίο μπορεί νά έχει οποιαδήποτε ένέργεια. Άλλά οποιαδήποτε ένέργεια που όφείλεται στην άλληλεπίδραση μικροφυσικών συστημάτων, είναι πάντοτε κβαντισμένη.

Ή θεωρητική βάση της σύγχρονης μικροφυσικής είναι ή κβαντική μηχανική. Άλλά ένας κυματικός φορμαλισμός, άποτελεί ούσιαστικό τμήμα αυτής της μηχανικής (μάλιστα υπήρξε ή άφετηρία της, με τη διδακτορική διατριβή του Louis de Broglie). Έτσι πολλοί μιλοῦν σήμερα για κυματομηχανική, και ό όρος αυτός καλύπτει, κάτω από τό κυματικό φαινόμενο, τό κύριο χαρακτηριστικό της νέας αυτής έπιστήμης. Ο ίσχυρισμός ότι ή βαθύτερη αίτία τών νέων νόμων είναι ή κβάντωση τών άλληλεπιδράσεων και όχι ό δυαδικός, κυματοσωματιδιακός χαρακτήρας τών μικροφυσικών συστημάτων, δέν είναι χωρίς θεμέλιο. Πολλοί φυσικοί άμφισβητοῦν αυτή τη δυαδικότητα και θεωροῦν τό κυματικό φαινόμενο σά στατιστικό έπιφαινόμενο, προερχόμενο από ώρισμένες συμμετρίες και κανόνες του μικροφυσικού έπιπέδου.¹⁵

15. Βλ. μεταξύ άλλων A. Lande', From Dualisme to Unity in Quantum Physics.

Τό quantum δράσης δεσπόζει στη σύγχρονη μικροφυσική. Ἐκ τῆν ὑπαρξή του προκύπτουν οἱ κανόνες ἀντιμετάθεσης τῶν τελεστῶν τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἐκ τῶν κανόνων αὐτῶν προκύπτουν καί οἱ γνωστοί περιορισμοί σέ ὅτι ἀφορᾷ τήν ταυτόχρονη μέτρηση μεγεθῶν, τῶν ὁποίων οἱ ἀντίστοιχοι τελεστές δέν ἀντιμετατίθενται (ὅπως π.χ. ἡ ὀρμή καί ἡ θέση). Τό κβάντο δράσης συνιστᾷ, σύμφωνα μέ τήν ὀρθόδοξη σχολή (τῆς Κοπεγχάγης), ἕνα ἀνώτερο ὄριο στήν ταυτόχρονη γνώση τῶν συζυγῶν μεγεθῶν τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἐκ τῆς λογικῆς δομῆς τῶν προτάσεων τῆς νέας μηχανικῆς (μή-μπούλειο πλέγμα) σημαδεύεται ἀπό τό κβάντο δράσης, ἄρα ἀπό τήν ἀσυνέχεια τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Ἡ κατάσταση αὕτη σημάδεψε βαθιά τή σύγχρονη ἐπιστημολογία. Ἐάν δέν μπορούμε νά μετρήσουμε τήν ἴδια στιγμή τή θέση καί τήν ὀρμή ἑνός σωματίου, τότε μιά «πλήρης» περιγραφή τῆς κίνησής του γίνεται ἀδύνατη. Μποροῦμε νά πετύχουμε εἴτε μιά χωρική, εἴτε μιά αἰτιακή περιγραφή. Οἱ δύο περιγραφές εἶναι κατά τόν Bohr συμπληρωματικές, ἀλλά ἀμοιβαῖα ἀποκλειόμενες. Ἐκ τῆς ἴδιας ἐρμηνείας βεβαιώνεται - καθῶς εἶδαμε - ὅτι ἕνα μέγεθος μή παρατηρήσιμο δέν ὑπάρχει (ἀρχή τῆς μή ὑπαρξῆς τῶν μή παρατηρήσιμων μεγεθῶν). Ἐκ τῆς αὐτῆς ἐρμηνείας, ἔάν ἕνα σωματίο βρίσκεται κάπου (ἔχει ὀρισμένη θέση), τότε δέν ἔχει ὀρμή καί ἀντίστροφα. Τό ἴδιο ἐπιχείρημα θά ἴσχυε καί γιά τά ἄλλα ζεύγη συζυγῶν μεγεθῶν. Ἡ κατάσταση αὕτη, μαζί μέ τό στατιστικό χαρακτήρα τῆς νέας μικροφυσικῆς, ὡδήγησαν τούς ὀπαδούς τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης νά ἀρνηθοῦν τόν αἰτιοκρατημένο χαρακτήρα τῶν κβαντικῶν φαινομένων, καθῶς καί τήν ἀντικειμενικότητα τῶν διεργασιῶν καί τῶν ὄντοτήτων τῆς μικροφυσικῆς. Ὁριακά, μέ βάση αὐτές τίς ιδιομορφίες, οἰκοδομήθηκε μιά ὑπόκειμενική ἀντίληψη τοῦ κόσμου.

Ὅλες αὐτές οἱ ἐπιστημονικές καί φιλοσοφικές ἀναστατώσεις εἶχαν σάν ἀφετηριακό σημεῖο τήν ἀνακάλυψη τοῦ κβάντου τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἐκ τῆς αὐτῆς ἀνακάλυψης θάταν ἐνδεχόμενα δυνατή μιά ἄλλη ἀντίληψη τῆς μικροφυσικῆς πραγματικότητας. Ἡ ἀφετηρία θάταν πάλι ὁ ἀσυνεχῆς χαρακτήρας τῶν ὄντοτήτων καί τῶν ἀλληλεπιδράσεων σ' αὐτό τό ἐπίπεδο.

Τά κβαντικά συστήματα δέν εἶναι κλασικά σωματίδια. Ἐκ τῆς ἀντίστοιχα θά μπορούσαν νά μή θεωρηθοῦν σά σωματίδια - κύματα, ἢ σάν κυματοδέσμες. Θάταν ὄντοτητες μέ κάποιον ἐντοπισμό, ὄντοτητες σύνθετες, πού ἔχουν ὀρισμένη δομή. Ἡ ἐννοια τῆς ἐσωτερικῆς δομῆς, εἶναι μέ τή σειρά τῆς

Cambridge Univ. Press. 1961, καί Ε. Μπιτσάκη, *Τά Ἐννοιολογικά θεμέλια τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς* Δωδώνη (ὑπό ἔκδοσιν).

δυναμική έννοια: ή δομή δέν είναι δεδομένη· είναι συνάρτηση τών συνθηκῶν. "Έτσι τό μικροφυσικό σύστημα δέν παρουσιάζεται σάν αντικείμενο καθ' έαυτό, έξω από όποιοδήποτε καθορισμό. Τά μικροφυσικά συστήματα μποροῦν νά θεωρηθοῦν σάν ήμι-ατομικά, ή σάν συστήματα ήμι-ανοικτά (άνοικτά - κλειστά). Οί έσωτερικές άλληλεπιδράσεις αὐτῶν τῶν συστημάτων δέν μποροῦν νά άγνοηθοῦν, καθώς και ή άλληλεπίδρασή τους μέ τό περιβάλλον, ή μέ τά ὄργανα τῆς μέτρησης. Οί δύο τελευταῖοι τύποι άλληλεπιδράσεων έπηρεάζουν τό σύστημα, τροποποιώντας τις έσωτερικές δομές του.

"Έτσι ή κβαντομηχανική κίνηση δέν ταυτίζεται μέ τήν κλασική. Είναι άκανόνιστη (aléatoire, τυχαία) και τροποποιείται άδιάκοπα έξ αίτίας τῶν τυχαίων άλληλεπιδράσεων τοῦ σωματίου μέ τό περιβάλλον (ή μέ τό ὄργανο τῆς μέτρησης). * Η τροποποίηση μπορεῖ νά είναι ποσοτική ή ποιοτική (τροποποίηση τῶν δομῶν του, και σέ ώρισμένες συνθήκες μετατροπή τοῦ μικροσωματίου).

Μέσα σ' αὐτό τό πλέγμα σχέσεων, οί άνισότητες τοῦ Heisenberg δέν είναι οὔτε άνεξήγητες, οὔτε άποκαλύπτουν έλλειψη καθορισμοῦ. Μποροῦν νά θεωρηθοῦν σά σχέσεις στατιστικοῦ χαρακτήρα, πού άφοροῦν στατιστικά σύνολα και ὄχι άτομικά σωματία. Οί σχέσεις αὐτές εκφράζουν τή διασπορά, τις τυχαῖες διακυμάνσεις τῆς τροχιᾶς και τῆς ὀρμῆς τῶν σωματίων, πού ὀφείλονται στις άτακτες άλληλεπιδράσεις μέ τό περιβάλλον τους.

* Αντίστοιχα, οί πιθανότητες μποροῦν νά θεωρηθοῦν ὄχι σάν έκφραση τοῦ δῆθεν άπροσδιόριστου τυχαίου. * Η κβαντομηχανική κατάσταση είναι μιá ώρισμένη προσέγγιση στό κβαντομηχανικό σύστημα. * Η είσαγωγή μιᾶς λεπτῆς ύφῆς τῆς καταστάσεως, ὀφειλόμενης στις τυχαῖες διακυμάνσεις πού προκαλοῦνται από τις τυχαῖες άλληλεπιδράσεις μέ τό περιβάλλον, θά μποροῦσε νά έρμηνεύσει τήν ύπαρξη διαφορετικῶν ὀδῶν για τήν άλλαγή τῆς καταστάσεως. "Έτσι ὀ συλλογισμός: από μιá άρχική κατάσταση, περισσότερες τελικές καταστάσεις, ἄρα, άπροσδιοριστία, παρουσιάζεται σά σχηματοποίηση τῶν πραγματικῶν φυσικῶν διεργασιῶν. Τέλος, οί πιθανότητες πού εμφανίζονται κατά τή μέτρηση, θά μποροῦσαν νά έρμηνευθοῦν από τις τυχαῖες (aléatoires) διακυμάνσεις, δηλαδή από τή λεπτή ύφή, τόσο τοῦ μικροσυστήματος, ὄσο και τοῦ ὀργάνου μέτρησης. Και έδῶ επίσης οί άρχικές συνθήκες δέν είναι ταυτόσημες. * Η λεπτή δομή τῆς καταστάσεως τοῦ στατιστικοῦ συνόλου θάταν ύπεύθυνη για τήν «έπιλογή» από κάθε άτομικό σύστημα τούτου ή εκείνου «ύποχώρου» στόν χῶρο τῶν καταστάσεων τοῦ ὀργάνου, κατά τή διάρκεια κάθε χωριστῆς μέτρησης. * Από αὐτό τό δρόμο θά μποροῦσε κανείς νά

προσδιορίσει τό συγκεκριμένο περιεχόμενο τοῦ ὄρου, κβαντική στατιστική αἰτιοκρατία (déterminisme statistique quantique) πού δέν θάταν ἡ ἄρνηση τῆς αἰτιότητας καί τοῦ καθορισμοῦ (détermination) ἀλλά ἡ διαλεκτική ἄρνηση, ἄρα ἡ γενίκευση τοῦ δυναμικοῦ καθορισμοῦ.

2.6. Ἡ ὑλοποίηση τῶν ἀλληλεπιδράσεων

Προσπαθήσαμε νά ἀναδείξουμε, μέσα ἀπό τίς μεγάλες στιγμές τῆς φυσικῆς, τό ρόλο τῶν ἀλληλεπιδράσεων στή διατύπωση τῶν φυσικῶν θεωριῶν. Μερικές παρατηρήσεις ἐπιβάλλονται ἀκόμα ἐδῶ.

Ἡ ἀλληλεπίδραση δέν εἶναι στίς μέρες μας ἡ ἀσαφής ὄντολογική κατηγορία τῶν ἀρχαίων. Εἶναι ἔννοια ἐπιστημονική. Δέν εἶναι ἐπίσης δύναμη αὐλή καί ἀκατανόητη, ἄν ὄχι μυστηριακή. Ἡ ἀλληλεπίδραση ἔχει ὑλοποιηθεῖ. Ἐκφράζεται μέ τή βοήθεια ἑνός πεδίου, πού δέν εἶναι πλέον ἀπλή παράσταση. Τό πεδίο εἶναι πραγματικότητα: ὑπάρχει ἀνεξάρτητα ἀπό τήν πηγὴ του, εἶναι φορέας ἐνέργειας, μάζας, ὀσμῆς, τροποποιεῖ τό γύρω χῶρο, ἐπηρεάζεται ἀπό τό πεδίο βαρύτητας, κλπ... Ἐπί πλέον: αὐτό πού εἶναι «πεδίο» σέ μιά ὀρισμένη στιγμή καί σέ καθωρισμένες συνθήκες, γίνεται «ὑλη» σέ ἄλλη στιγμή καί σέ συνθήκες διαφορετικές. Ὁ δυῖσμός ὑλης καί πεδίου ἀνήκει στήν ἱστορία. Κάτω ἀπό τή διαφορότητα τῶν μορφῶν, ἀποκαλύπτεται ἡ ὄντολογική ἐνότητα τῶν φυσικῶν συστημάτων καί τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Ἡ παλιά τυπική ἀντίθεση ἀνάμεσα στό πεδίο, πού θεωρεῖται «ἄυλο» καί τήν «ὑλη», ἔχει ξεπερασθεῖ. Φυσικά ὑπάρχουν βεβαίως διαφορές ἀνάμεσα στίς δύο πραγματικότητες. Τά κβάντα τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου, π.χ., διαδίδονται πάντα μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός, ἡ μάζα ἠρεμίας τους θεωρεῖται μηδενική (πρᾶγμα πού εἶναι ἀμφισβητήσιμο καί πού ἤδη ἀμφισβητεῖται), ὑπακούουν στή στατιστική Bose-Einstein καί συνεπῶς μποροῦν νά δημιουργοῦνται καί νά καταστρέφονται χωρίς τούς περιορισμούς ὁποιοῦδήποτε νόμου διατήρησης τοῦ συνολικοῦ ἀριθμοῦ τους. Ἐπίσης τά κβάντα τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων ὑπακούουν στήν ἴδια στατιστική καί μποροῦν νά δημιουργοῦνται καί νά καταστρέφονται σέ ἀπεριόριστους ἀριθμούς, ἀλλά ἐδῶ ἡ μάζα ἠρεμίας δέν εἶναι μηδενική, κλπ. Ἀπό τήν ἄλλη πλευρά, τά συστατικά τῶν ἀτόμων τῆς «ὑλης» (μέ τή στενή ἔννοια), ἔχουν μάζα ἠρεμίας θετική, ἀκολουθοῦν τή στατιστική Fermi-Dirac, ἄρα δημιουργοῦνται καί καταστρέφονται κατά ζεύγη λεπτονίων-ἀντιλεπτονίων ἢ βαρυονίων-ἀντιβαρυονίων, ἔτσι πού ὁ συνολικός λεπτονικός καί βαρυονικός ἀριθμός τοῦ συστήματος νά διατηρεῖται σταθερός.

Ἐν τούτοις οἱ διαφορές αὐτές (καί πολλές ἄλλες) δέ θεμελιώνουν κάποια τυπική διχοτομία ἀνάμεσα στήν ὑλη καί τά πεδία τῶν φυσικῶν

άλληλεπιδράσεων. Αντίθετα: τό βασικό είναι ή φυσική τους ένότητα. Οί άμοιβαίοι μετασχηματισμοί τών διαφόρων τύπων στοιχειωδών σωματίων είναι συνηθισμένη πρακτική στή μικροφυσική. Έτσι έχουν πιά έξαφανιστεί τά όρια ανάμεσα σ' αυτό πού πρίν άποκαλοῦσαν ὕλη από τή μιά καί πεδίο από τήν ἄλλη, καί συγκεκριμενοποιείται καί βαθαίνει ή όντολογική ένότητα τής φύσης, πού περιλαμβάνει όλες τίς γνωστές μορφές σωματίων: τά συστατικά τών ατόμων καί τά κβάντα τών φυσικῶν άλληλεπιδράσεων.

Γνωρίζουμε σήμερα πολλούς τύπους άλληλεπιδράσεων, ἄρα πολλά πεδία. Θάταν ἄραγε δυνατό νά αναχθοῦν οί γνωστές άλληλεπιδράσεις σέ ἕνα καί μοναδικό πεδίο; Τό έρώτημα έχει τεθεῖ από παλαιά. Ο Einstein προσπάθησε, χωρίς έπιτυχία, νά ένοποιήσει τήν ήλεκτρομαγνητική καί τή βαρυτική άλληλεπίδραση. Πολλές παρόμοιες προσπάθειες συναντᾶ κανείς στίς κβαντικές πεδιακές θεωρίες. Τά τελευταία χρόνια ὑπῆρξαν θετικές ένδείξεις σχετικά μέ τήν ένοποίηση τών ήλεκτρομαγνητικῶν καί τών ασθενῶν άλληλεπιδράσεων. Επίσης ὑπάρχουν θεωρητικές αποδείξεις για τή δυνατότητα νά μετατραπεί ή ένέργεια τών βαρυτικῶν κυμάτων σέ ήλεκτρομαγνητικό κῶμα καί αντίστροφα. Αὐτές οί συνθετικές απόπειρες είναι έξαιρετικά σημαντικές. Αλλά δέν πρέπει νά άγνοεῖται ότι ή ένοποίηση συμβαδίζει μέ τή διαφοροποίηση, καί ότι τά σημερινά μέσα, καί κυρίως τά αὔριανά μέ τού γιγάντιους έπιταχυντές, θά έπιτρέψουν ἴσως τήν ανακάλυψη καί ἄλλων φυσικῶν άλληλεπιδράσεων, θέτοντας μ' αυτό τόν τρόπο νέα προβλήματα.

Τό κβάντο τής βαρυτικής άλληλεπίδρασης δέν έχει ακόμα ανακαλυφθεῖ, ἴσως έξ αίτίας τής έξαιρετικής μικρότητάς του. Αλλά όλες οί ἄλλες άλληλεπιδράσεις είναι κβαντισμένες. Κβάντωση, σημαίνει ασυνέχεια. Αλλά ή κβαντική ασυνέχεια δέν αντιτίθεται τυπικά στή συνέχεια. Είναι γνωστός ἕνας μεγάλος αριθμός από φαινόμενα, όπου οί δύο όψεις είναι άξεχώριστες. Η δυνατότητα νά οίκοδομήσουμε μιά ενεργητική κλίμακα πού θά αντιστοιχεῖ στά διάφορα επίπεδα όργάνωσης τής ὕλης, θά μπορούσε νά θεωρηθεῖ μιά ακόμα εκδήλωση τής διαλεκτικής συνέχειας-ασυνέχειας.

Έτσι, στίς ένέργειες τής τάξεως τοῦ 1 e.v., αντιστοιχεῖ τό ατομικό επίπεδο καί άποστάσεις τής τάξεως τών 10^{-8} cm. Στίς ένέργειες τοῦ 1 Mev αντιστοιχεῖ τό επίπεδο τής πυρηνικής φυσικής καί άποστάσεις τής τάξεως τών 10^{-13} cm. Μέ ένέργειες μερικῶν Gev, περνᾶμε στήν περιοχή τής ὑποπυρηνικής φυσικής (περιοχή τών στοιχειωδών σωματίων). Οί άποστάσεις τῶρα είναι τής τάξεως τών 10^{-14} - 10^{-15} cm καί οί μετασχηματισμοί τών μορφῶν τής ὕλης γίνονται ό κανόνας. Τί θά συμβεῖ πάνω από 30 Gev καί μάλιστα πάνω από 300Gev; Θα έχουμε μιά νέα

κλίμακα μαζών, νέους μετασχηματισμούς και νέες αλληλεπιδράσεις; Ποιές θάνα οι ανατροπές των αντιλήψεων για τη δομή της ύλης;

“Ένα σωματίο σταθερό σε χαμηλές ενέργειες, αποσταθεροποιείται αν κατέχει αρκετά υψηλή ενέργεια. Στις υψηλές ενέργειες ο κανόνας είναι η κινητικότητα, δηλαδή οι μετατροπές. Αλλά και στους -273° , η κίνηση δεν εξαφανίζεται: δεν βρίσκουμε εκεί χαμηλά, το βασίλειο της ακινησίας. Το «απόλυτο μηδέν» θεωρήθηκε για μια μακρά περίοδο σαν η κατάσταση της ολοκληρωτικής τάξης και ακινησίας. Ωστόσο η κβαντική μηχανική απέδειξε ότι ακόμα και σ’ αυτή τη θερμοκρασία η κίνηση παραμένει: πρόκειται καθώς έχουμε σημειώσει, για την ενέργεια του μηδενικού σημείου (zero point energy), που επαληθεύεται από το πείραμα¹⁶. Αλλά ενέργεια σημαίνει κίνηση, δηλαδή αλληλεπίδραση.

2.7. Για την ενότητα του φυσικού κόσμου.

Η κατηγορία της αλληλεπίδρασης, που αφορά την ενότητα του φυσικού κόσμου, έχει την ίδια ηλικία με τη φιλοσοφία. Στο ξεκίνημά της ήταν κενή από ειδικό περιεχόμενο. Με τη δημιουργία της φυσικής βρισκόμαστε μπροστά σε μια ποιοτική μεταμόρφωση: η αλληλεπίδραση γίνεται έννοια επιστημονική, και αποκτά ειδικό περιεχόμενο. Αλλά η επιστήμη δεν είναι τόπος ξένος στη φιλοσοφία. “Υστερα από μια μακρά οδύσσεια 25 αιώνων, φαίνεται να πλησιάζουμε στο τέρμα ενός πρώτου περίπλου, όπου η φυσική μας οδηγεί ξανά στη φιλοσοφία. Αλλά το τέρμα δεν συμπίπτει με την αφετηρία: η γνώση βρίσκεται τώρα σ’ ένα άλλο επίπεδο και οι σχέσεις επιστήμης-φιλοσοφίας έχουν βαθιά μεταμορφωθεί.

Η έννοια της αλληλεπίδρασης δεν καθιστά περιττή την αντίστοιχη φιλοσοφική κατηγορία. Το αντίστροφο: μπορούμε τώρα να δούμε το συγκεκριμένο πλούτο του ειδικού, μέσα από το οποίο οδηγούμαστε στο καθολικό. Η φιλοσοφία, που καθώς έγραφε ο Hegel, είναι στο έπακρο έχθρική στο αφηρημένο και επαναφέρει στο συγκεκριμένο, βγαίνει δυναμωμένη απ’ αυτή τη σύζευξη.

Οι φυσικές αλληλεπιδράσεις αποτελούν προϋπόθεση για την ενότητα - όντολογική και λειτουργική - του φυσικού κόσμου. Μια από τις συγκεκριμένες εκδηλώσεις αυτής της ενότητας, είναι οι πολλαπλοί και άμοιβαίοι μετασχηματισμοί των μορφών της ύλης. Κατά τη διάρκεια

16. Το υγρό ήλιο δεν στερεοποιείται σε θερμοκρασίες παραπλήσιες με το απόλυτο μηδέν, σε κανονικές πιέσεις: οι κυμάνσεις του μηδενικού σημείου αντισταθμίζουν τις δυνάμεις Van der Waals, και έτσι γίνεται αδύνατος ο σχηματισμός κρυσταλλικού πλέγματος, εκτός αν ασκηθούν εξαιρετικά υψηλές πιέσεις.

αὐτῶν τῶν μετασχηματισμῶν διατηρεῖται ἓνα ὄρισμένος ἀριθμός φυσικῶν μεγεθῶν. Ἔτσι τὰ φαινόμενα μετασχηματισμοῦ διέπονται ἀπὸ ἀκριβεῖς κανόνες καὶ νόμους. (Οἱ νόμοι διατήρησης δὲν ἔχουν νόημα παρά χάρη στὸ μετασχηματισμό, πρᾶγμα πού φανερῶνει τὴν ἐνότητα τῶν δυὸ αὐτῶν ἀντίθετων ἐννοιῶν). Ἀλλὰ οἱ μετασχηματισμοὶ πραγματοποιοῦνται χάρη στίς φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις. Ἔτσι ἡ ἀλληλεπίδραση βρίσκεται, γιὰ μιὰ ἀκόμη φορά, στὸ κέντρο τῆς κίνησης τῆς πραγματικότητας.

Τὰ φαινόμενα, ἄρα οἱ μετασχηματισμοὶ (κάθε φαινόμενο περιέχει ἓνα ἢ περισσότερους μετασχηματισμούς) ὑπακούουν σὲ νόμους: σὲ ἐσωτερικὲς καὶ ἀναγκαῖες σχέσεις. Ἔτσι οἱ ἀλληλεπιδράσεις εἶναι οἱ αἰτίες τῶν φαινομένων καὶ τὰ προσδιορίζουν.

Στὴν ἐποχὴ τῶν ἀλληλεπιδράσεων μέ ἄπειρη ταχύτητα, οἱ φυσικοὶ ἔλπιζαν ὅτι τὸ σύνολο τῶν αἰτιακῶν σχέσεων θά μπορούσε νὰ ἀναχθεῖ στὸ μηχανιστικὸ πρότυπο αἰτιότητας καὶ καθορισμοῦ. Σύμφωνα μέ τούς νόμους τῆς μηχανικῆς, ἡ αἰτία καθορίζει μονοσήμαντα τὸ ἀποτέλεσμα. Οἱ νόμοι τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ, καθὼς καὶ οἱ ρελατιβιστικοὶ νόμοι τῆς βαρύτητας, δὲν εἶναι νόμοι μηχανιστικοί. Καὶ ἐδῶ ὡστόσο ἡ αἰτία καθορίζει μονοσήμαντα τὸ ἀποτέλεσμα. Μποροῦμε νὰ ὀνομάσουμε τὸ νέο αὐτὸ τύπο καθορισμοῦ, *δυναμικὸ καθορισμό*. Οἱ νόμοι ὅμως τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, καθὼς καὶ πολλοὶ νόμοι ἄλλων φυσικῶν ἐπιστημῶν, ἔχουν στατιστικὸ χαρακτήρα. Τὸ γεγονός αὐτὸ ὡδήγησε πολλοὺς φυσικοὺς καὶ φιλόσοφους νὰ θεωρήσουν τὴν κβαντικὴ μηχανικὴ σάν περιοχὴ τοῦ τυχαίου πού εἶναι ἀναίτιο, ἢ τουλάχιστον ὄχι καθορισμένο (*indéterminé*).

Ἡ προηγούμενη ἀνάλυση προσπάθησε νὰ ἀποδείξει ὅτι εἴμαστε μπροστὰ σὲ ἓνα νέο τύπο καθορισμοῦ: τὸ στατιστικὸ κβαντικὸ καθορισμό. Ὁ δυναμικὸς καθορισμὸς ἀφορᾷ «ἀπλᾶ» φαινόμενα, «καθαρὰ», ἀπομονωμένα ἀπὸ τὸ σύνολο τῶν προσδιοριστικῶν ὄρων τους. Ἀλλὰ τὰ φαινόμενα στὴ φύση, ἐξ αἰτίας τῆς περιπλοκότητάς τους, ἐκδηλώνονται τίς πιὸ πολλές φορές μέ τὴ μορφή στατιστικῶν κατανομῶν. Ἡ δυναμικὴ μορφή καθορισμοῦ εἶναι ἰδανικὴ, ὀριακὴ μορφή (πιθανότητα ἴση μέ 1), ἐνῶ ἡ πιὸ γενικὴ μορφή εἶναι ἡ στατιστικὴ.

Ἡ ἀλληλεπίδραση, θεμελιώδης ὄντολογικὴ κατηγορία, συνδέεται ἀπὸ τὴν ἴδια τὴν ἀσαφή, ποιοτικὴ καὶ συχνά μυστικοποιημένη γέννησή της, μέ θεμελιώδεις φυσικὲς καὶ κοσμολογικὲς ἐννοιες. Ἀκόμα καὶ ἡ γενεαλογία τῶν βασικῶν ἐννοιῶν τῶν μαθηματικῶν, δὲν μπορεῖ νὰ ἀποκοπεῖ ἀπὸ τὴν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης.

Τὰ συμπαγῆ καὶ μέ σαφῆ ὄρια ἄτομα τῶν ἀρχαίων κινοῦνται στὸ κενό, πού εἶναι τὸ μηδέν: ἄρνηση τοῦ εἶναι, ὅμοιο σ' ὄλα τὰ σημεῖα του,

χωρίς ποιότητα και χωρίς «διαφορές». Τό κενό είναι άπειρο, όπως και ο χρόνος. Μέσα σ' αυτό τό σύμπαν μεταδίδονται μέ άπειρη ταχύτητα οι αλληλεπιδράσεις, πού είναι έξωτερικές ως προς τό χώρο. 'Η εὐκλείδεια γεωμετρία ἀντιστοιχεί σ' αὐτή τή μηχανιστική ἐξιδανίκευση τῶν σχέσεων ὕλης - χώρου - αλληλεπιδράσεων. Δέν είναι τυχαῖο ὅτι ὁ εὐκλείδειος χώρος είναι ὁ χώρος τῆς κλασικῆς μηχανικῆς μέ τίς στιγμιαῖες αλληλεπιδράσεις. * Ἄν ἡ αλληλεπίδραση δέν είναι στιγμιαία, ὁ χώρος καί ὁ χρόνος δένονται σέ ἕνα συνεχές καί ὁ εὐκλείδειος χώρος πρέπει νά ἀντικατασταθεῖ ἀπό τόν ψευδο-εὐκλείδειο χώρο τοῦ Minkowski.

* Ἄ· φαντασθοῦμε τό χώρο τοῦ Ἀριστοτέλη ὅπου τό κενό είναι ἀδίαστο, γιατί ἀνάμεσα στ' ἄλλα δέν συνεπάγεται καμμιά «διαφορά». Τί ἀριστοτελικό σύμπαν είναι πεπερασμένο καί ἡ ὕλη πληροῖ τό πᾶν. 'Ο χώρος είναι συνεχῆς ἀπ' ἄκρη σ' ἄκρη, οἱ αλληλεπιδράσεις είναι ἐξελικτικές διαδικασίες, καί τό ἄπειρο είναι δυνάμει, ὄχι ἐνεργεία. * Ἄς φαντασθοῦμε σέ συνέχεια τό σύμπαν τοῦ Καρτέσιου, ὅπου ὁ χώρος είναι ἀδιαχώριστος ἀπό τήν ὕλη, κι' ὅπου ὁ ὅρος ἄπειρο ἐπιφυλάσσεται στό Θεό. * Ἄν κάμουμε ἕνα ἀκόμα βῆμα καί δεχθοῦμε ὅτι ὁ χώρος διαμορφώνεται ἀπό τήν ὕλη καί τίς αλληλεπιδράσεις της, περνᾶμε στό σύμπαν τῆς σχετικότητας μέ τή ρημάνεια γεωμετρία του. Οἱ ἀναλογίες αὐτές καί αὐτά τά δρομολόγια πρὸς τό παρελθόν (καί ἀπό τό παρελθόν) δέν είναι, ἴσως, οὔτε αὐθαίρετα οὔτε χωρίς χρησιμότητα.