

ΕΥΤΥΧΗΣ Ι. ΜΠΙΤΣΑΚΗΣ, Ἀθῆναι

## Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ

Ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι κεντρικὴ ἔννοια τῶν φυσικῶν θεωριῶν. Μάλιστα, ἡ ἀντίληψη ποὺ εἶχαν γι' αὐτὴν οἱ φυσικοί, ἀπετέλεσε τὸ ἀφετηριακὸ σημεῖο μερικῶν ἀπὸ τὶς μεγάλες ἐπαναστάσεις στὴ φυσικὴ (σχετικότητα, κβάντα) καὶ καθώρισε τὸ χαρακτῆρα τῶν ἀντίστοιχων περιοχῶν αὐτῆς τῆς ἐπιστήμης. Θὰ ἐπιχειρήσωμε νὰ δείξωμε σ' αὐτὸ τὸ ἄρθρο, μὲ ποιοὺ τρόπο ἡ ἀλληλεπίδραση, ἀπὸ φιλοσοφικὴ κατηγορία μεταμορφώθηκε σὲ φυσικὴ ἔννοια καὶ ποιὸς ὑπῆρξε ὁ ρόλος τῆς στὴν ἐξέλιξη τῆς φυσικῆς. Τέλος θὰ ἐπιχειρήσωμε νὰ δείξωμε ὅτι παρὰ τὴν ποιοτικὴ διαφορὰ τῆς, ἡ φιλοσοφικὴ κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης καὶ ἡ ἀντίστοιχη φυσικὴ ἔννοια βρίσκονται σὲ διαλεκτικὴ σχέση.

### 1. Οἱ πρόδρομοι.

Ἡ νόηση ἐπιχείρησε, ἀπὸ τὶς πρῶτες θεωρητικὲς-ὀρθολογικὲς ἐκδηλώσεις τῆς, νὰ συλλάβῃ τὴν ἐνότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου μέσα ἀπὸ τὴ διαφορότητα τῶν μορφῶν του. Ἡ προσπάθεια αὕτη εἶναι ἰδιαίτερα ἐκδηλη στὴν ἀρχαία Ἑλληνικὴ Φιλοσοφία.

Ἡ κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης ἐμφανίζεται συχνὰ ἐδῶ ὡς ὁ ν τ ο λ ο γ ι κ ῆ κατηγορία καὶ θεμελιώνει τὴν ἐνότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου.

Εἶναι ἀλήθεια ὅτι δύσκολα μπορεῖ κανεὶς νὰ κατανοήσῃ τὴν ἐνότητα ἐνὸς κόσμου ποὺ οἰκοδομεῖται ἀπὸ ἀριθμούς, ὅπως τὸ σύμπαν τῶν Πυθαγορείων, καὶ θάταν ἀφέλεια νὰ ἀναζητήσωμε κάποια ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα σὲ ἀριθμούς. Τὸ ἴδιο θὰ μπορούσε νὰ εἰπωθῇ — ὡς ἓνα βαθμὸ — γιὰ τὸ Εἶναι τῶν Ἑλεατῶν, ποὺ παραμένει ἀμετάβλητο, ὁμοιόμορφο, ἄφθαρτο καὶ ἀδημιούργητο, αἰώνια ταυτόσημο μὲ τὸν ἑαυτὸ του. Ἡ ἴδια βεβαίωση θὰ ἴσχυε τέλος γιὰ τὸ πλατωνικὸ σύμπαν, ποὺ εἶναι ὁ κόσμος τῶν ἰδεῶν: τῶν καθαρῶν μορφῶν.

Ὁ ἐλληνικὸς ἰδεαλισμὸς δὲν μπόρεσε νὰ συναντήσῃ τὴν πραγματικὴ φύση. Ἀντίθετα οἱ ἀτομιστές, γιὰ τοὺς ὁποίους τὸ σύμπαν ἀποτελεῖται



ἀπὸ τὰ ἄτομα καὶ τὸ κενό, ἀντιμετώπισαν ἤδη τὴν ὑπαρξὴ ἀλληλεπιδράσεων ἀνάμεσα στὰ ὑλικά σώματα. Πρόκειται γιὰ «ἀπορροές», γιὰ «ὁμοιώματα», ποὺ ἀποτελοῦνται ἀπὸ λεπτεπίλεπτη ὕλη, ἐκπέμπονται ἀπὸ τὰ σώματα καὶ προκαλοῦν τὰ αἰσθήματα μὲ τὴν ἐπίδρασή τους στὰ αἰσθητήρια ὄργανα. Ἡ θεωρία εἶναι ἀσαφὴς καὶ ἀπλοϊκὴ. Ὡστόσο εἶναι φανερὴ μιὰ ὀρισμένη ἀναλογία μὲ τὴ σύγχρονη ὀπτική. Ἐπίσης οἱ συνδυασμοὶ τῶν ἀτόμων, ἀπ' ὅπου γεννιοῦνται τὰ μακροσκοπικά σώματα, προϋποθέτουν κάποιες ἀλληλεπιδράσεις ἀνάμεσα στὶς στοιχειώδεις αὐτὲς ὀντότητες.

Ὡστόσο, μόνο στὶς διαλεκτικὲς φιλοσοφίες βρίσκει κανεὶς τὴν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης νὰ λειτουργῇ στὸ κέντρο τῆς θεωρίας τοῦ Εἶναι. Γιὰ τὸν Ἡράκλειτο ἡ ἐνότητα τοῦ κόσμου εἶναι δεδομένη:  $\varepsilon \nu \tau \acute{o} \pi \alpha \nu$ . Ἡ ἐνότητα συνυπάρχει μὲ τὴν ὑλικότητα: τὸν κόσμο δὲν τὸν δημιούργησε κανεὶς ἀπὸ τοὺς θεοὺς ἢ τοὺς ἀνθρώπους. Ἐπὶ πλέον, τὸ πρωταρχικὸ στοιχεῖο δὲν εἶναι κάποιο στοιχεῖο παθητικόν· εἶναι ἡ φωτιά ποὺ συμβολίζει τὴν κίνηση καὶ βρίσκεται σὲ ἀδιάκοπη μεταμόρφωση. Οἱ μεταμορφώσεις τῆς αἰζῶσης φωτιάς ὑπακούουν σὲ νόμους καὶ προϋποθέτουν τὴν ἀδιάκοπη ἀλληλεπίδραση τῶν μερῶν της. Ἀλλὰ ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι ἀντιθετικὴ: τὸ πᾶν γεννιέται ἀπὸ τὴν πάλιν καὶ τὴν ἐνότητα τῶν ἀντιθέτων. Ἐτσι ὁ κόσμος, αἰώνιο γίγνεσθαι, εἶναι ἁρμονία τῶν ἀντιθέτων καὶ τὰ μέρη του καθορίζονται ἀμοιβαῖα. Ἡ φωτιά, παρὰ ταῦτα, δὲν εἶναι ἀκόμα ἡ ὕλη τῆς σύγχρονης φυσικῆς, πολύμορφη μέσα στὴν ἐνότητά της. Ἀντίστοιχα καὶ ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι μιὰ κατηγορία χωρὶς φυσικὸ περιεχόμενο, ποὺ δὲν ὑπάρχει μὲ εἰδικὲς καὶ μετρήσιμες μορφές, καὶ δὲν ὀδηγεῖ σὲ ποσοτικά (καὶ μετρήσιμα) ἀποτελέσματα. Ἡ φιλοσοφία εἶναι ἀκόμα μορφή θεάσης καὶ ἐρμηνείας τοῦ κόσμου: δὲν ἀναδύεται ἀπὸ τὸ χῶρο τῶν ἐπιστημῶν, γιατί ἐπιστήμη, μὲ τὴ σημερινὴ ἔννοια, δὲν ὑπάρχει ἀκόμα.

Ἡ ἀτμόσφαιρα εἶναι παρόμοια στὴν ἀριστοτελικὴ φιλοσοφία: *Ἡμῖν δι' ὑποκείσθω τὰ φύσει ἢ πάντα ἢ ἐν κινούμενα εἶναι*. Καθὼς ἡ φύση εἶναι ἀρχὴ κίνησης καὶ ἀλλαγῆς, ἡ ἔρευνα δὲν μπορεῖ νὰ ἀγνοήσῃ αὐτὸ τὸ θεμελιακὸ γεγονὸς: *Ἐπεὶ δ' ἡ φύσις μὲν ἐστὶν ἀρχὴ κινήσεως καὶ μεταβολῆς, ἡ δὲ μέθοδος ἡμῖν περὶ φύσεώς ἐστι, δεῖ μὴ λανθάνειν τί ἐστὶ κίνησις· ἀναγκαῖον γὰρ ἀγνοουμένης αὐτῆς, ἀγνοεῖσθαι καὶ τὴν φύσιν*. Τὸ σύμπαν γιὰ τὸν Ἀριστοτέλη ἔχει δυναμικὸ χαρακτήρα: ἡ κίνηση καὶ ἡ ἀλλαγή δὲν ἐπιβάλλονται στὴν ὕλη ἀπὸ κάποιον ἐξωτερικὸ παράγοντα. Εἶναι ἀρχὲς ἐσωτερικὲς καὶ ἡ φύση βρίσκεται σὲ ἀέναη αὐτοανάπτυξη. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι ὑπάρχει σκοπιμότητα σ' αὐτὴ τὴν κίνηση: ἡ ἐντελέχεια. Ἀλλὰ ἡ σκοπιμότητα ὑπάρχει μέσα στὸ ἴδιο τὸ εἶναι, ἀπ' ὅπου ὁ δυναμικὸς χαρακτήρας τῆς κίνησης, τῆς κατηγορίας τοῦ *δυνάμει* καὶ τῶν ἄλλων κατηγοριῶν τῆς ἀριστοτελικῆς θεωρίας τοῦ Εἶναι.

Τὰ μέρη τοῦ Εἶναι καθορίζονται ἀμοιβαῖα, χάρις στὴν ἀλληλεπίδραση. Ἡ δράση αὐτὴ συνιστᾷ τὴ βάση τῶν φυσικῶν νόμων καὶ τῆς αἰτιότητας. Καὶ ἀξίζει νὰ σημειωθῇ ὅτι μιὰ ἀπὸ τὶς αἰτίες (καὶ ὄχι ἡ λιγώτερο σημαντική) γιὰ τὴν ἀπόρριψη τοῦ κενοῦ ἀπὸ τὸν Ἀριστοτέλη, εἶναι ὅτι στὸ κενὸ ἡ ἡρεμία εἶναι ἀναπόφευκτη, γιὰτὶ τὸ κενὸ σὰν τέτοιο δὲν ἐνέχει καμιά διαφορά. Ἡ ὕλη εἶναι πανταχοῦ παρούσα, ἄρα ἡ «διαφορά», ἄρα ἡ ἀλληλεπίδραση, ἀπ' ὅπου γεννιέται ἡ κίνηση. Ἐπίσης ἡ σχέση ἀνάμεσα στὸ δυνάμει καὶ τὸ ἐνεργεῖα εἶναι διαλεκτική: προϋποθέτει τὸ μετασχηματισμὸ πὺ δὲν ἀποτελεῖ ἄρνηση τῆς διατήρησης, μιὰ καὶ κεῖνο πὺ εἶναι ἐνεργεῖα ἀποτελεῖ μέτρο αὐτοῦ πὺ εἶναι δυνάμει. Ἀκόμα καὶ τὸ ἄπειρο εἶναι δυνάμει, γιὰτὶ καὶ αὐτὸ εἶναι γίγνεσθαι. Δὲν εἶναι πραγματοποιημένο, ἄρα δὲν ἐκφράζει κάποια στάσιμη κατάσταση. Ἡ ἀλληλεπίδραση παραμένει καὶ ἐδῶ ἀφηρημένη. Ἀλλὰ τὸ δυναμικὸ αὐτὸ σύμπαν, ὅπου ὁ χῶρος εἶναι ἀκατανόητος χωρὶς τὴν ὕλη καὶ ὅπου κατὰ συνέπειαν ἡ ὕλη καὶ ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι πανταχοῦ παρούσες, προαναγγέλλει, ἀπὸ ἓνα ἄλλο χῶρο, τὴ δυναμικὴ ἀντίληψη τοῦ Καρτεσίου καὶ τοῦ Ἀϊνστάϊν καθὼς καὶ τῶν κβαντικῶν θεωριῶν τοῦ πεδίου, ὅπου, ἀντίθετα μὲ τὸ μηχανιστικὸ σύμπαν τοῦ Νεύτωνος, ἡ ἀλληλεπίδραση καθίσταται ἓνας φυσικὸς φορέας ἀνάμεσα σὲ φυσικὲς ὀντότητες.

Υλικὲς ἀπορροές, ἔλξη, ἀπώθηση, ἔρως καὶ μῖσος, πάλι τῶν ἀντιθέτων, ἀγῶνας ἀνάμεσα σὲ φυσικὰ στοιχεῖα καὶ ἀγῶνας ἀνάμεσα σὲ στοιχεῖα θεοποιημένα, εἶναι μερικὲς ἀπὸ τὶς ἐννοιες πὺ χρησιμοποίησαν οἱ Ἀρχαῖοι, γιὰ νὰ συλλάβουν τὴν κίνηση καὶ τὴν ἀλλαγή, πὺ προϋποθέτουν τὴν ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα στὶς ὕλικὲς ὀντότητες. Ὡστόσο τὶς συγκεκριμένες μορφὲς φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων θὰ τὶς ἀνεκάλυπτε ἡ φυσικὴ στοὺς νεώτερους χρόνους. Ἡ ἀλληλεπίδραση θὰ γινόταν τότε, μὲ μιὰ ποιοτικὴ μεταλλαγή, φυσικὴ ἐννοια, δηλαδὴ ἐννοια εἰδική, ἐπιστημονικὰ λειτουργική, σχετιζόμενη μὲ τὸ πείραμα καὶ εἰδικώτερα μὲ τὴ μέτρηση.

## 2. Ἡ ἀλληλεπίδραση ὡς φυσικὴ ἐννοια.

Ἡ ἐννοια τοῦ φυσικοῦ νόμου ὑπάρχει δυνάμει στὴν ἐλληνικὴ φιλοσοφία, μὲ τὴ μορφή τῆς φιλοσοφικῆς κατηγορίας: πρόκειται γιὰ τὸ Λόγο τοῦ Ἡρακλείτου, τὸ λόγο καὶ τὴν ἀνάγκη τῶν ἀτομιστῶν, κλπ. Στοὺς νεώτερους χρόνους ὁ νόμος γίνεται ἐννοια ἐπιστημονική: ἀφορᾷ μιὰ εἰδικὴ κατηγορία φαινομένων, παίρνει συχνὰ τὴ μορφή μαθηματικῆς σχέσης, προϋποθέτει καὶ γεννάει τὴ μέτρηση, ἐπαληθεύεται ἢ ἀνασκευάζεται ἀπὸ τὸ πείραμα. Πρόκειται γιὰ τὴν ἀντίληψη τοῦ Κέπλερ, τοῦ Γαλιλαίου, τοῦ Νεύτωνος καὶ τῶν ἄλλων θεμελιωτῶν τῆς Φυσικῆς.

Νόμος, ωστόσο, σημαίνει δράση, ἄρα ἀλληλεπίδραση. Ἡ κίνηση γεννιέται ἀπὸ τὴν ἀλληλεπίδραση (βαρυτική, ἠλεκτρική κλπ.) καὶ γεννᾷ τὴν ἀλληλεπίδραση. Ἀλλὰ ἡ κίνηση δὲν εἶναι πλεόν ἡ γενικὴ κατηγορία τοῦ γίγνεσθαι. Μὲ τὴν ἐξειδίκευση μεταμορφώνεται ποιοτικά: γίνεται συγκεκριμένη μορφή φυσικῆς κίνησης. Ἀντίστοιχα ἡ ἐπιστήμη ὀρίζεται, ἀπὸ τὰ πρῶτα τῆς στάδια, ὡς μελέτη τῆς κίνησης. Στὴν ἀρχὴ κίνηση σημαίνει κυρίως μετατόπιση. Ἀλλὰ μὲ τὴν ἐμβάθυνση τῆς ἐξειδικευμένης γνώσης, ἡ κίνηση ξαναβρίσκει, σὲ νέους χώρους καὶ μὲ εἰδικὸ περιεχόμενο, τὴν ἀρχέγονη σημασία τῆς: μετασχηματισμός, ἐξέλιξη, σύνθεση ἢ ἀποικοδόμηση, μὲ μιὰ λέξη, π ο ι ο τ ι κ ῆ μ ε τ α β ο λ ῆ. Ἔτσι ἡ ἀκίνησις καὶ ἡ σταθερότητα ἐμφανίζονται, ὅλο καὶ πιὸ συγκεκριμένα, ὡς στιγμὲς μιᾶς ἔννοιας ποὺ τὶς ξεπερνᾷ: τῆς κίνησης.

Ἡ Φυσικὴ ἔχει ἀνακαλύψει ὠρισμένες μορφές φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Στὴν ἐποχὴ τοῦ Νεύτωνος οἱ ἀλληλεπιδράσεις (καὶ εἰδικότερα ἡ βαρυτικὴ) ἐθεωροῦντο δυνάμεις ποὺ διαδίδοντο μὲ ἄπειρη ταχύτητα. Ἡ αἰτιακὴ σχέση καὶ ὁ καθορισμός (détermination) ἦταν λοιπὸν φαινόμενα στιγμιαῖα. Μετὰ τὴ σχετικότητα ἡ ἀντίληψη αὐτὴ ἐγκαταλείφθηκε ἀπὸ τὴ Φυσικὴ. Οἱ ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μὲ πεπερασμένη ταχύτητα καὶ ἡ αἰτιότητα καὶ ὁ καθορισμός πραγματοποιοῦνται χάρις σὲ ἐξελικτικὲς διαδικασίες ἀνάμεσα στὰ φυσικὰ συστήματα.

Σήμερα εἶναι γνωστὲς τέσσερις μορφές ἀλληλεπιδράσεων:

α. Οἱ ἰ σ χ υ ρ ῆ ς ἀ λ λ η λ ε π ι δ ρ ά σ ε ι ς. Ἀσκοῦνται ἀνάμεσα στὰ μικροσωμάτια ποὺ λέγονται ἁ δ ρ ό ν ι α (πρωτόνια, νετρόνια, μεσόνια, κλπ.). Εἶναι ὑπεύθυνες γιὰ τὴ σταθερότητα τῶν πυρήνων, γιὰ ἓνα μεγάλο ἀριθμὸ μετασχηματισμῶν μικροσωματίων καὶ γιὰ ἄλλα φαινόμενα. Τὸ πεδίο αὐτῶν τῶν ἀλληλεπιδράσεων ἀποτελεῖται ἀπὸ π μεσόνια καὶ ἡ ἀκτίνα δράσεώς του εἶναι ἐξαιρετικὰ μικρὴ, τῆς τάξεως τῶν  $10^{-13}$  cm, ὅπως καὶ ὁ χαρακτηριστικὸς χρόνος τους,  $10^{-23}$  sec.

β. Ἡ ἠ λ ε κ τ ρ ο μ α γ ν η τ ι κ ῆ ἀ λ λ η λ ε π ί δ ρ α σ η. Ἄν δώσωμε στὴν ἰσχὺ τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων τὴν αὐθαίρετη τιμὴ 1, τότε ἡ τιμὴ τῆς ἰσχύος τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς εἶναι τῆς τάξεως  $10^{-4}$ . Τὸ πεδίο αὐτῆς τῆς ἀλληλεπίδρασης εἶναι τὸ φωτονικό, καὶ ἡ ἀκτίνα δράσεώς της θεωρητικὰ ἄπειρη. Ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση ἀποτελεῖ τὴ βάση τῆς ἠλεκτρικῆς ἐπιστήμης καὶ τεχνολογίας, τῶν τηλεπικοινωνιῶν εἰδικότερα, τῶν χημικῶν καὶ βιολογικῶν φαινομένων κλπ.

γ. Οἱ ἀ σ θ ε ν εῖ ς ἀ λ λ η λ ε π ι δ ρ ά σ ε ι ς. Εἶναι ἐξαιρετικὰ ἀσθενεῖς. Ἡ ἰσχύς τους εἶναι τῆς τάξης τῶν  $10^{-13}$  καὶ ἡ ἀκτίνα τους μικρότερη ἀπὸ  $10^{-14}$  cm. Τὸ πεδίο τους ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰ σωματῖα  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $W^0$ . Εἶναι

ὕπευθυνες γιὰ ἓνα ἀριθμὸ μετατροπῶν στὴν περιοχὴ τῶν μικροσωματίων, καὶ εἰδικώτερα γιὰ τὴ ραδιενέργεια β τῶν πυρήνων.

δ. Ἡ βαρυτικὴ ἀλληλεπίδραση τέλος, εἶναι ἰδιαίτερα ἀσθενής: ἡ ἰσχὺς της εἶναι τῆς τάξης τῶν  $10^{-38}$ . Ἐχει πιθανὸν τὸ κβάντο της, τὸ βαρυτόνιο, ἡ ἀκτίνα δράσεώς της εἶναι θεωρητικὰ ἄπειρη καὶ εἶναι ὑπεύθυνη γιὰ ὅλα τὰ γήϊνα καὶ τὰ κοσμικὰ φαινόμενα ποὺ ὀφείλονται στὴν ἀμοιβαία ἑλξη τῶν ὑλικῶν σωμάτων.

Ἡ ἀνακάλυψη αὐτῶν τῶν ἀλληλεπιδράσεων δὲν ὑπῆρξε καρπὸς τοῦ τυχαίου: ὑπῆρξε πάντα ἡ κατάληξη ἐργασιῶν σὲ συγκεκριμένα προβλήματα. Μὲ τὴ σειρά τους, οἱ ἀνακαλύψεις αὐτὲς δὲν ἦταν ἓνα δευτερεῦον γεγονὸς γιὰ τὴ Φυσικὴ. Ἀναστάτωναν κάθε φορὰ τὶς ἀντιλήψεις μας γιὰ τὴ φυσικὴ πραγματικότητα καὶ εἰδικώτερα τὴ δομὴ καὶ τὸ χαρακτῆρα τῆς Φυσικῆς.

Ἡ Φυσικὴ μελετᾷ μιὰ ὀρισμένη κατηγορία φαινομένων. Εἶναι ὥστόσο ἐνδιαφέρον νὰ σημειώσωμε, ὅτι ὁ ἐννοιολογικὸς πυρήνας τῶν διαφόρων κλάδων της δὲν διαμορφώθηκε μὲ ἀφετηρία τὶς ιδέες γιὰ τὴ δομὴ τῶν ὑλικῶν σωμάτων (μὲ τὴ στενὴ ἔννοια). Ὁ χαρακτήρας τῆς φυσικῆς καθωρίστηκε πάντα ἀπὸ τὸν χαρακτῆρα (πραγματικὸ ἢ ὑποθετικὸ) τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἔτσι μὲ ἄπειρη ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων ποὺ ὑποτίθενται συνεχεῖς, καταλήγομε ὑποχρεωτικὰ στὴ μηχανιστικὴ (νευτώνεια) φυσικὴ. Πεπερασμένη ταχύτητα καὶ μὴ «κβαντισμένη» ἀλληλεπίδραση, ὑπῆρξε τὸ ἀφετηριακὸ σημεῖο γιὰ τὸν ἠλεκτρομαγνητισμὸ, τὴν εἰδικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας καὶ τὴ θεωρία τῆς βαρύτητας τοῦ Einstein. Ἀπειρη ταχύτητα καὶ κβάντωση τῶν ἀλληλεπιδράσεων, ὁδηγεῖ στὴ μὴ σχετικιστικὴ «κβαντικὴ» μηχανικὴ. Πεπερασμένη ταχύτητα καὶ «κβάντωση» ὁδηγεῖ, τέλος, στὴ σχετικιστικὴ «κβαντικὴ» μηχανικὴ.

Ἡ ἐξέλιξη τῶν ιδεῶν μας γιὰ τὴν ἀλληλεπίδραση εἶναι λοιπὸν ὀργανικὰ δεμένη μὲ τὴν ἐξέλιξη τῆς Φυσικῆς. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ δὲν εἶναι ἀνεξήγητο: Ἡ ἀλληλεπίδραση δὲν εἶναι ἓνας παράγοντας ἐξωτερικὸς ὡς πρὸς τὴν ὕλη. Ἀντίθετα, ἀποτελεῖ μιὰ ἀπὸ τὶς ἐκδηλώσεις τῆς οὐσίας τῶν ὑλικῶν σωμάτων, μὲ τὰ ὁποῖα ταυτίζεται ὀντολογικά. Ἐκπέμπεται ἀπὸ τὴν ὕλη, εἶναι καὶ αὐτὴ μορφή ὕλης καὶ τροποποιεῖ τὸ φυσικὸ σύστημα ἀπ' ὅπου προέρχεται. Ἡ «ἀπορρόφησή» της τροποποιεῖ ἐπίσης τὸν «δέκτη». Προῖόν ἢ ἴδια κάποιων κινήσεων, προκαλεῖ ἄλλες κινήσεις καὶ ἄλλες ἀλληλεπιδράσεις. Ἔτσι γίνεται παράγοντας ἀλληλεξάρτησης καὶ ἀμοιβαίου καθορισμοῦ τῶν φυσικῶν συστημάτων.

Ἄς δοῦμε τώρα τὴν ἐξέλιξη τῶν φυσικῶν θεωριῶν σὲ σχέση μὲ τὶς ἀνακαλύψεις τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων, γιὰ νὰ ἐπιστρέψωμε τελικὰ στὸ ἀφετηριακὸ σημεῖο μας: στὴν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης, ποὺ ἀναδύεται τώρα μέσα ἀπὸ τὸ εἰδικὸ καὶ τὸ συγκεκριμένο

3. Ἡ ἀλληλεπίδραση με̐ ἄπειρη ταχύτητα καὶ τὸ μηχανιστικὸ σύμπαν.

Ἡ ἔννοια τῆς στιγμιαίας δύναμης, δηλαδή τῆς φυσικῆς ἀλληλεπίδρασης με̐ ἄπειρη ταχύτητα, εἰσήχθηκε στὴ Φυσικὴ ἀπὸ τὸν Νεύτωνα. Σκοπὸς του ἦταν νὰ δώσῃ μιὰ μαθηματικὴ διατύπωση καὶ μιὰ «ἐρμηνεία» στοὺς φυσικοὺς νόμους καὶ εἰδικὰ στοὺς νόμους τῆς οὐράνιας μηχανικῆς. Ὁ Νεύτων διετύπωσε τὶς ιδέες του στὰ δυὸ μνημειώδη ἔργα του, τὰ *Principia* καὶ τὴν *Ὀπτική*.

Γιὰ τὴν εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας δράσης ἦταν ἀπαραίτητες ὁρισμένες φιλοσοφικὲς προϋποθέσεις. Ἡ εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας δράσης εἶχε με̐ τὴ σειρά τῆς ὡς συνέπεια, τὴ διαμόρφωση μιᾶς φυσικῆς με̐ καθωρισμένο—μηχανιστικὸ—χαρακτῆρα καὶ τὴν πιὸ συγκεκριμένη ἐπεξεργασία τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης γιὰ τὴ φύση.

Ὁ Νεύτων δέχεται τὴν ὕπαρξη ἐνὸς ἄπειρου χώρου, *sensorium Dei* καὶ ἀπεριόριστη σκηνὴ τῶν φαινομένων. Ὁ χώρος εἶναι διαιρετὸς ἐπ' ἄπειρον. Ἀντίθετα τὰ ὑλικά σώματα δὲν εἶναι: Πρόκειται γιὰ σώματα «στερεά, μαζικά, σκληρά, ἀδιαπέραστα» καὶ «τόσο σκληρά», ὥστε «δὲν ὑπάρχει συνηθισμένη δύναμη ἱκανὴ νὰ διαιρέσει αὐτὸ ποὺ ὁ θεὸς ἔκαμε ἔν, κατὰ τὴν πρώτη στιγμὴ τῆς δημιουργίας»<sup>1</sup>. Τὰ σώματα αὐτὰ κινούνται στὸν χώρο, ποὺ εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὴν παρουσία τους, ὁμογενὴς καὶ ἰσότροπος<sup>2</sup> καὶ στὸ χρόνο, ποὺ εἶναι ὁ ἴδιος γιὰ ὅλα τὰ σημεῖα τοῦ σύμπαντος.

Τὰ ὑλικά σώματα ὑπακούουν στὴν ἀρχὴ τῆς ἀδράνειας: ἡ κινητικὴ τους κατάσταση διατηρεῖται, ἐφ' ὅσον δὲν τροποποιεῖται ἀπὸ τὴ δράση κάποιας δύναμης. Ἡ δύναμη λοιπὸν θεωρεῖται σὰν ἡ αἰτία τῆς ἀλλαγῆς τῆς καταστάσεως τῶν ὑλικῶν συστημάτων. Μετράται ἀπὸ τὴν ἐπιτάχυνση ποὺ προκαλεῖ σὲ μιὰ ὁρισμένη μάζα.

Ἡ εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας δράσης ἀπὸ ἀπόσταση—καὶ εἰδικὰ τῆς δύναμης τῆς βαρύτητας—προκάλεσε τὴν ἀντίδραση τῶν μεγαλυτέρων φυσικῶν τῆς ἐποχῆς. Ὁ Leibniz π.χ., θεωροῦσε τὴ βαρυτικὴ ἑλξη σὰν «ἀπόκρυφη ιδιότητα» καὶ ὁ Huygens ἦταν πολέμιος αὐτῆς τῆς ἔννοιας. Ἡ στιγμιαία δράση ἦταν ἐξ ἄλλου ἀντίθετη με̐ τὴν καρτεσιανὴ ἀντίληψη γιὰ τὴν ὕλη καὶ τὴν κίνηση, ὅπου ἡ ἀνυπαρξία τοῦ κενοῦ συνεπάγεται τὴν ἀδυναμία μιᾶς στιγμιαίας ἀλληλεπίδρασης ἀνάμεσα σὲ δυὸ διαφορετικὰ σώματα.

1. *Opticks*, Ed. Dover, σελ. 400.

2. Ὁ χώρος τῆς κλασσικῆς φυσικῆς εἶναι ἓνας εὐκλείδειος χώρος με̐ θετικὴ μετρικὴ. Τὸ ἀπειροστὸ διάστημα ἔχει μέτρο:  $|ds| = \sqrt{dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2}$ .

Ὁ Νεύτων ὑπερασπίσθηκε τὴν ὑπόθεσή του: «Δὲ θεωρῶ τὶς ἀρχὲς αὐτὲς σὰν ἀπόκρυφες ἰδιότητες». Ἐπέμεινε στὸν πειραματικὸ χαρακτήρα τῶν φυσικῶν νόμων καὶ χαρακτήρισε τὴ βαρύτητα «φαινόμενο, ὃχι ἰδιότητα τῆς ὕλης». Ἐπίσης ὑπογράμμισε ἐπανειλημμένα τὸν ἐμπειρικὸ χαρακτήρα τῆς φιλοσοφίας του: «Δὲν κάνω ὑποθέσεις». Ἐν τούτοις ἔκαμε ὑποθέσεις καὶ μάλιστα ὑποθέσεις μεταφυσικῆς, ποὺ βρίσκονται στὴν ἀφετηρία καὶ στὸ τέλος τοῦ συστήματός του γιὰ τὸν κόσμος.

Προτοῦ προχωρήσωμε, πρέπει νὰ σημειώσωμε ὅτι ἡ δύναμη δὲν εἶναι παρὰ μιὰ μυστικοποιημένη ἔκφραση τῆς ἀλληλεπίδρασης, καὶ μάλιστα προϋποθέτει τὴν ἀμοιβαία δράση. Ὁ τρίτος νόμος τοῦ Νεύτωνος (δράση = ἀντίδραση), φανερῶνει ὅτι ὁ δεύτερος νόμος (δύναμη = μάζα × ἐπιτάχυνση) εἶναι στὴν πραγματικότητα ἓνας νόμος ἀμοιβαίας δράσης. Σ' ἓνα ἀπομονωμένο σύστημα, τὸ (διανυσματικὸ) ἄθροισμα τοῦ συνόλου τῶν δυνάμεων εἶναι ἴσο μὲ μηδέν. Ἄρα ἡ δράση εἶναι ἴση μὲ τὴν ἀντίδραση<sup>3</sup>. Ἡ συνθήκη αὐτὴ εἶναι ἀναγκαία γιὰ τὴν ὑπαρξὴ ἐνὸς ἀδρανειακοῦ συστήματος. Ἄν, ἀντίθετα, παραβιάζεται ὁ τρίτος νόμος, τότε τὸ σύστημα δὲν εἶναι ἀδρανειακό. Ἡ πρώτη αὐτὴ παρατήρηση θέλει νὰ ὑπογραμμίσῃ τὸ χαρακτήρα τῶν νευτώνειων δυνάμεων: νὰ εἶναι παράγοντες ἀμοιβαίας δράσης.

Ἡ εἰσαγωγὴ τῆς στιγμιαίας ἀλληλεπίδρασης εἶχε ἀνάγκη — καθὼς σημειώσαμε — ἀπὸ ὀρισμένες φιλοσοφικῆς προϋποθέσεις. Θὰ ὠδηγοῦσε μὲ τὴ σειρά της σὲ μιὰ συνολικὴ ἀντίληψη ὃχι μόνο τῆς μηχανικῆς, ἀλλὰ καὶ τοῦ κόσμου γενικώτερα.

Οἱ νόμοι τῆς μηχανικῆς ὀφείλουν νὰ διατηροῦν τὴ μορφή τους, ὅταν περνᾶμε ἀπὸ ἓνα σύστημα ἀδρανείας σὲ ἄλλο. Αὐτὴ ἡ ἀμεταβλητότητα τῆς μορφῆς, εἶναι ἔκφραση τοῦ ἐνδογενοῦς χαρακτήρα, ἅρα τῆς ἀντικειμενικότητας τῶν νόμων τῆς μηχανικῆς. Περνᾶμε ἀπὸ ἓνα σύστημα ἀδρανείας σὲ ἄλλο, μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς ὁμάδας μετασχηματισμῶν, τῶν μετασχηματισμῶν τοῦ Γαλιλαίου<sup>4</sup>. Ἡ ὁμάδα αὐτὴ δέχεται

$$3. \text{ Γιὰ ἓνα μεμονωμένο σύστημα: } \sum_{\alpha} \frac{\partial L}{\partial \vec{r}_{\alpha}} = 0. \text{ Ἀλλὰ } \frac{\partial L}{\partial \vec{r}_{\alpha}} = \frac{\partial U}{\partial \vec{r}_{\alpha}} = \vec{F}_{\alpha}.$$

Ἄρα:  $\sum_{\alpha} \vec{F}_{\alpha} = 0$ . [L : ἡ συνάρτηση Lagrange τοῦ συστήματος. Γιὰ ἓνα σωματίο σὲ

ἓνα πεδίο U, π.χ. ἔχομε:  $L = \frac{mv^2}{2} - U(\vec{r})$ ].

4. Ὁ Γαλιλαῖος δὲν ἔγραψε φυσικὰ αὐτοὺς τοὺς μετασχηματισμούς, ποὺ διατυπώθηκαν τὸ 19ο αἰῶνα. Ὡστόσο ὅλες οἱ προϋποθέσεις γιὰ τὴ διατύπωσή τους ἐνυπάρχουν στὴν ἐννοια τοῦ συστήματος ἀδρανείας καὶ τῆς στιγμιαίας δράσης ἀπὸ ἀπόσταση. Οἱ βασικῆς ἐννοιες καὶ ἡ μαθηματικὴ δομὴ μιᾶς θεωρίας δὲν ἀναπτύσσονται ὑποχρεωτικὰ μὲ τὸν ἀξιωματικὸ τρόπο, μὲ τὸν ὁποῖο παρουσιάζεται a posteriori ἡ θεωρία. Ἀνάμεσά

Ἄλλα ὑπάρχει στὴ φύση ἓνα τέτοιο ἀδρανειακὸ σύστημα; Ὁ Νεύτων εἶχε συνείδηση τῆς βαρύτητας τοῦ ἐρωτήματος, καὶ τῶν πρακτικῶν δυσκολιῶν γιὰ τὴν πειραματικὴ ἀνακάλυψη ἑνὸς τέτοιου συστήματος, καθὼς διαπιστώνεται ἀπὸ τὶς σχετικὲς σκέψεις του στὰ *Principia*. Ἐτσι ὠδηγήθηκε νὰ εἰσαγάγῃ τὶς ἐννοιες τοῦ ἀπόλυτου χώρου καὶ τοῦ ἀπόλυτου χρόνου, ὥστε νὰ δημιουργήσῃ μιὰ βάση γιὰ τὴ Μηχανικὴ. Καθὼς γράφει «ὁ ἀπότην ὑπαρξὴ ἑνὸς παγκόσμιου χρόνου, κοινοῦ γιὰ ὅλα τὰ συστήματα ἀναφορᾶς. Ἀλλὰ ἡ ὑπαρξὴ τοῦ παγκόσμιου χρόνου προϋποθέτει (ἔμμεσα ἢ ἄμεσα) τὴν ὑπαρξὴ ἀλληλεπιδράσεων μὲ ἄπειρη ταχύτητα. Ἐτσι ἡ στιγμιαία ἀλληλεπίδραση εἶναι ἀναγκαία συνθήκη γιὰ τὴ μαθηματικὴ διατύπωση τῶν θεωρητικῶν βάσεων τῆς κλασσικῆς μηχανικῆς<sup>5</sup>. Οἱ μετασχηματισμοὶ τοῦ Γαλιλαίου προϋποθέτουν τὴν ὑπαρξὴ συστημάτων ἀναφορᾶς γιὰ τὰ ὁποῖα ἰσχύουν οἱ νόμοι τῆς μηχανικῆς. Τὰ συστήματα αὐτὰ καλοῦνται **συστήματα ἀδρανείας** (ἢ συστήματα Γαλιλαίου). Σὲ τέτοια συστήματα, ἓνα ἐλεύθερο σῶματιο κινεῖται εὐθύγραμμα καὶ ὁμαλά.

Ὑπάρχουν ὅμως στὴν πραγματικότητα τέτοια συστήματα ἀναφορᾶς; Ἄν ὑπάρχῃ ἔστω καὶ ἓνα, τότε ὑπάρχει μιὰ ἀπειρία ὁλόκληρη: κάθε σύστημα ἀναφορᾶς σὲ ὁμοιόμορφη μετατόπιση σὲ σχέση μὲ τὸ πρῶτο, θάναι ἐπίσης σύστημα ἀδρανείας. Ἡ ἰσοδυναμία τῶν ἀδρανειακῶν συστημάτων σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τοὺς νόμους τῆς μηχανικῆς εἶναι τέλεια.

Ὡρίσαμε μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο μιὰ **π ρ ο ν ο μ ι ο ὕ χ ο τ ᾶ ξ η** συστημάτων. Γιὰ ὅλα αὐτὰ τὰ συστήματα ὁ χῶρος εἶναι ὁμογενὴς καὶ ἰσότροπος, ὁ χρόνος εἶναι ἰσότροπος, τὸ μῆκος εἶναι ἓνα ἀπόλυτο μέγεθος, ὅπως καὶ ἡ χρονικὴ διάρκεια καὶ ἡ χρονικὴ σύμπτωση. Ὅλες αὐτὲς οἱ ιδιότητες τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου προϋποθέτουν τὴ στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση. Ἄν οἱ ἀλληλεπιδράσεις μεταδίδονται μὲ πεπερασμένη ταχύτητα, οἱ νόμοι τῆς μηχανικῆς θάταν διαφορετικοὶ γιὰ τὰ διάφορα συστήματα ἀδρανείας. Ἐτσι ἡ ἀρχὴ τῆς σχετικότητας καὶ ὁλόκληρη ἡ κλασσικὴ μηχανικὴ, θάπρεπε νὰ τεθῇ σὲ ἀμφισβήτηση. (Αὐτὴ ἡ ἐσωτερικὴ ἀντινομία ποὺ ἐγίνε ἐκδηλῆ μὲ τὰ φαινόμενα τοῦ ἡλεκτρομαγνητισμοῦ, θὰ ὠδηγοῦσε στὴ θεωρία τῆς σχετικότητας).

---

τους ἄλλωστε μποροῦν νὰ ὑπάρξουν ἀντιθέσεις, ποὺ θὰ ἀνατινάζουν ἐν καιρῷ τὸ θεωρητικὸ οἰκοδόμημα. Αὐτὸ συνέβη π.χ. μὲ τὴν κλασσικὴ μηχανικὴ (ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων ἄπειρη) καὶ τὸν ἡλεκτρομαγνητισμὸ (πεπερασμένη ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων). Ἀπὸ τὴ σύγκρουση γεννήθηκε ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας.

5. Οἱ μετασχηματισμοὶ τοῦ Γαλιλαίου γιὰ **δὺὸ** συστήματα σὲ ὁμοιόμορφη μετατόπιση ὡς πρὸς τὸν ἄξονα  $\vec{ox}$  ἔχουν τὴ μορφή:  $x' = x + v, y' = y, z' = z, t' = t$ . Ἡ μορφή αὐτὴ ἐκφράζει τὴν ὑπαρξὴ ἑνὸς παγκόσμιου χρόνου ( $t' = t$ ) καὶ τὴν ἀνεξαρτησία τοῦ χρόνου ἀπὸ τὴν ὕλη καὶ τὴν κίνησή της.

λυτος χώρος, ἄσχετος μὲ τὰ ἐξωτερικὰ πράγματα, παραμένει πάντα ὁμοιος μὲ τὸν ἑαυτό του καὶ ἀκίνητος». Ὑπάρχει ἐπίσης «ὁ ἀπόλυτος χρόνος, ὁ ἀληθινὸς καὶ χαρακτηριστικὸς, χωρὶς σχέση με ὅτιδήποτε ἐξωτερικό», ὁ ὁποῖος «ρέει ὁμοιόμορφα καὶ καλεῖται διάρκεια»<sup>6</sup>. Ὁ Νεύτων ὥρισε ἐπίσης τὴν ἀπόλυτη κίνηση: «Ἡ ἀπόλυτη κίνηση εἶναι ἡ μετατόπιση τῶν σωμάτων ἀπὸ μιᾶ ἀπόλυτη θέση σὲ μιᾶ ἄλλη ἀπόλυτη θέση». Ἐπίσης, «ἡ ἀληθινὴ ἡρεμία τοῦ σώματος εἶναι ἡ παραμονὴ στὸ τμῆμα τοῦ ἀκίνητου χώρου»<sup>7</sup>.

Ὁ ἀπόλυτος χώρος, σκηνὴ ἀπεριόριστη τῶν φαινομένων, ταυτίζεται μὲ τὸ μεταφυσικὸ κενό, ποὺ μπορεῖ νὰ δεχθῇ τὴν ὕλη. Ὑλὴ καὶ χώρος δὲν συνδέονται ὀργανικά. Ξαναβρίσκομε ἐδῶ τὴν ἀντίληψη τῶν ἀρχαίων ἀτομικῶν, ποὺ δέχονται τὴν ἀσυνεχῆ, σωματιδιακὴ ὕφὴ τῆς ὕλης, καὶ τὸ κενό, ἄρνηση τοῦ εἶναι. Ἡ ἀντίληψη αὐτὴ εἶναι ἀντίθετη μὲ τὶς ἀντιλήψεις τοῦ Ἀριστοτέλους καὶ τοῦ Καρτεσίου, ἡ ὁποία, μέσα ἀπὸ τὸ ἔργο τοῦ Faraday καὶ τοῦ Maxwell, θὰ ὡδηγοῦσε στὴν ἐνότητα τῆς ὕλης, τοῦ χώρου, τοῦ χρόνου καὶ τῆς κίνησης, στὰ πλαίσια τῆς γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας.

Ἀπόλυτος χώρος καὶ χρόνος, ἀπόλυτος συγχρονισμός, χρονικὴ διαδοχὴ ἀπόλυτου χαρακτῆρα: ὅλες αὐτὲς οἱ ἐννοιες προϋποθέτουν τὴ στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση. Ἐτσι οἱ αἰτίες διαδίδονται στιγμιαία καὶ τὰ φαινόμενα καθορίζονται ὄχι μόνο ἀπόλυτα, ἀλλὰ καὶ χωρὶς χρονικὴ ὑστέρηση.

Ὁ Νεύτων διετύπωσε μιᾶ μορφή νόμου, ὅπου ὁ χρόνος παίζει, ἐξ αἰτίας τῆς παγκοσμιότητάς του, τὸ ρόλο μιᾶς μὴ οὐσιαστικῆς καὶ ἀπαλείψιμης παραμέτρου. Ὁ νόμος τῆς βαρύτητας καὶ ὁ νόμος τοῦ Coulomb στὴν ἠλεκτροστατικὴ ἀνήκουν σ' αὐτὴ τὴν κατηγορία νόμων, ποὺ προϋποθέτουν τὴ στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση.

Σήμερα εἶναι φανερό ὅτι ἡ στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση ἀποτελεῖ τὴν ἀναγκαίαν προϋπόθεση γιὰ τὴ διαμόρφωση ὁλόκληρου τοῦ οἰκοδομήματος τῆς προ-ρελατιβιστικῆς φυσικῆς. Μποροῦμε συνεπῶς νὰ ποῦμε ὅτι ἡ ἀλληλεπίδραση μὲ ἄπειρη ταχύτητα ἀποτελεῖ τὸν ἐννοιολογικὸ πυρῆνα τῆς κλασσικῆς φυσικῆς. Ἡ ἐπιστῆμη αὐτὴ στηρίχθηκε λοιπὸν σὲ μιᾶ πλασματικὴ ὑπόθεση. Ἡ ἐπιτυχία της ὀφείλεται στὸ γεγονὸς ὅτι οἱ ταχύτητες τῶν συνηθισμένων φαινομένων ποὺ ἀνήκουν στὴν περιοχὴ τῆς εἶναι μηδαμινὲς μπροστὰ στὴν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ἡ μελέτη τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν φαινομένων (ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων ἴση μὲ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec θὰ ὡδηγοῦσε κατ' εὐθεῖαν στὴ σχετικότητα.

6. *Principia*, Paris, Blanchard 1966, σελ. 8.

7. Ὁ. π., σελ. 9 καὶ 11

Μπορούμε να ορίσουμε την έννοια της στιγμιαίας δράσης ως τον εννοιολογικό πυρήνα της προελατιβιστικής φυσικής. Αυτό δε σημαίνει πως οι έννοιες και ο φορμαλισμός αυτής της επιστήμης διαμορφώθηκαν με τρόπο απαγωγικό, από ωρισμένα αξιώματα. Άληθινό είναι ακριβώς το αντίστροφο. Άνάμεσα στις διαισθήσεις του Καρτεσίου, το έργο του Γαλιλαίου και του Νεύτωνος από τη μία, και τη διατύπωση της κλασσικής μηχανικής του Lagrange και του Hamilton από την άλλη, υπάρχει βαθύτατη διαφορά και θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για μία, ή και για περισσότερες επισημολογικές μεταλλαγές που ώδήγησαν στο σημερινό φορμαλισμό. Άντίθετα με τη σχετικότητα, οι επισημολογικές προϋποθέσεις της κλασσικής μηχανικής αποσαφηνίσθηκαν μέσα από μια μακρά εξελικτική διαδικασία.

Ο Νεύτων και οι μεταγενέστεροι φυσικοί διεμόρφωσαν μια συνολική αντίληψη για το σύμπαν: απόλυτος χώρος και χρόνος, ανεξάρτητοι από την ύλη και την κίνησή της, αιώνια άτομα χωρίς δομή και χωρίς πραγματικές ιδιότητες, δυνάμεις εξωτερικές σε σχέση με την ύλη, την αδρανή από τη φύση της, κίνηση νοούμενη ως μετατόπιση, κατάσταση ή όποια διατηρείται και συνιστά την ἄρνηση του γίγνεσθαι. Σ' αυτό το σύμπαν ή αλλαγή έχει πάντα ποσοτικό χαρακτήρα και η εξέλιξη και η ποιοτική αλλαγή είναι αδύνατες, σε τελευταία ανάλυση<sup>8</sup>. Ένας μηχανιστικός «ντετερμινισμός» δεσπόζει σ' αυτό το σύμπαν, απ' όπου αποκλείονται ή πρωτοβουλία, ή δημιουργικότητα και η ελευθερία. Ο λαπλασιανός φαταλισμός και η θεολογία του Νεύτωνος θάταν οι διαμετρικά αντίθετες, αλλά από μια ἄποψη ισοδύναμες καταλήξεις αυτής της κοσμοαντίληψης, ή όποια περιέχει ως ἀφετηριακό σημείο και ως πυρήνα, την αλληλεπίδραση με ἄπειρη ταχύτητα.

Οι ἐσωτερικές αντιθέσεις της μηχανιστικής φυσικής είχαν φθάσει στο ἀποκορύφωμά τους προς τὰ τέλη του περασμένου αἰώνα. Άλλά ή νέα Φυσική και ή νέα κοσμοαντίληψη δὲν θὰ γεννιόνταν από τη μελέτη τούτου

8. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο Νεύτων δὲν χώρισε ἐντελῶς την ὕλη και την κίνηση. Ἐκτὸς ἀπὸ τὴν *vis inertiae*, πὸν εἶναι μὴ παθητικὴ ἀρχή, ἀναζήτησε και ἄλλες ἐνεργητικὲς ἀρχές, γιὰ νὰ ἐξηγήσῃ τὴν κίνηση. Τέτοιες θὰ ἦταν π.χ. ἡ βαρύτητα, τὰ αἷτια πὸν προκαλοῦν τὴ ζύμωση, τὴ συνεκτικότητα τῶν σωμάτων, και οἱ ἀρχές αὐτὲς θὰ ἔπρεπε νὰ θεωροῦνται, «ὅχι ὡς ἀπόκρυφες ιδιότητες, πὸν ὑποτίθεται ὅτι προκύπτουν ἀπὸ εἰδικὲς μορφὲς τῶν πραγμάτων, ἀλλὰ ὡς γενικοὶ νόμοι τῆς φύσης» (*Opticks*, Ed. Dover, σελ. 317 και 401). Ὁ ἐννοια ἄλλωστε τῆς αλληλεπίδρασης, ἡ ὁποία πηγάζει ἀπὸ τὴν ὕλη, ἡ ἐννοια τῆς ἀμοιβαίας δράσης και μὴ κάποια ἀναγνώριση τῆς ποιότητας, ξεπερνοῦν τὸν ἄκαμπτο μηχανισμό και συνιστοῦν μὴ πρώτη ἐκδήλωση τοῦ διαλεκτικοῦ πνεύματος μέσα στὸν ὅλο τῆς μηχανικῆς.

ἢ ἐκείνου τοῦ ὕλικου σύστηματος (μὲ τὴ στενὴ ἐννοια τοῦ ὅρου). Στὸ σύμπαν τῆς σχετικότητας ὠδήγησε ἡ μελέτη μιᾶς ἄλλης ἀλληλεπίδρασης: τῆς ἡλεκτρομαγνητικῆς.

#### 4. Ἡ ἀλληλεπίδραση μὲ πεπερασμένη ταχύτητα καὶ τὸ σύμπαν τῆς σχετικότητας.

Ἡ ἀρχαία διαμάχη γιὰ τὸ κενὸ καὶ τὸ πλήρες ἀναζωογονήθηκε μὲ τὸ ἔργο τῶν Faraday καὶ Maxwell. Ὁ ἡλεκτρομαγνητισμὸς θὰ ὠδηγοῦσε σὲ μιὰ νέα ἀντίληψη τῆς πραγματικότητας, μέσα ἀπὸ τὴ μελέτη ἐξαιρετικὰ λεπτῶν φαινομένων. Ὁ Faraday, καθὼς γράφει ὁ ἴδιος, ἐνιωθε μεγάλη δυσκολία νὰ φαντασθῇ τὰ ἄτομα χωρισμένα μεταξὺ τους καὶ νὰ «κολυμποῦν» στὸ κενό. Δὲν δεχόταν τὰ σκληρὰ ἄτομα καὶ θεωροῦσε τὴν ὕλη ὡς ἓνα ἀπέραντο συνεχές. Ἡ γραμμὴ Ἀριστοτέλης-Καρτέσιος, ἔβρισκε στὸ πρόσωπό του ἓναν ἀκόμα ἑξοχο ἐκπρόσωπο.

Οἱ ἐξισώσεις τοῦ Maxwell ἀπεκάλυψαν τὴν ὕπαρξη μιᾶς ἄλλης πραγματικότητας ἀσυμβίβαστης μὲ τὴ σωματιδιακὴ ἀντίληψη τῆς φύσης: τοῦ ἡλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου, φορέα τῆς ἡλεκτρομαγνητικῆς ἀλληλεπίδρασης. Τὸ πεδίο δὲν εἶναι τώρα πιά μιὰ ἀπλὴ παράσταση. Εἶναι μιὰ πραγματικότητα ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν πηγὴ του, εἶναι φορέας ἐνέργειας, ὁρμῆς, διαδίδεται μὲ πεπερασμένη ταχύτητα στὸ χῶρο καὶ ἀποκαθιστᾷ σχέσεις αἰτίας-ἀποτελέσματος μὲ τρόπο ἐξελικτικό.

Ὡστόσο εἶναι γνωστὸ ὅτι ὁ Maxwell, ὅπως καὶ οἱ σύγχρονοί του, διαποτισμένοι ἀπὸ τὶς μηχανιστικὲς ἀντιλήψεις, θεωροῦσαν τὸ ἡλεκτρομαγνητικὸ πεδίο ὡς διαταραχὴ ποὺ διαδίδεται μὲ τὴ μεσολάβηση τοῦ αἰθέρα. Καὶ καθὼς ὁ αἰθέρας εἶχε συνδεθῇ μὲ τὸν ἀπόλυτο χῶρο, φαντάσθηκαν ὅτι θὰ μπορούσαν νὰ ἀποδείξουν, μὲ πειράματα σχετικὰ μὲ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, τὴν κίνηση τῆς γῆς διαμέσου τοῦ αἰθέρα, ἄρα τὴν ἀπόλυτη κίνηση τῆς γῆς. Ἔτσι θὰ ἀποκαλυπτόταν ἡ ὕπαρξη τοῦ προνομιούχου συστήματος καὶ ἡ μηχανικὴ θὰ ἀποκτοῦσε ἐπὶ τέλους σταθερὴ βάση. Εἶναι γνωστὸ πὼς ὅλα τὰ σχετικὰ πειράματα ἀπέτυχαν: ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ σχετικὴ κίνηση πηγῆς-παρατηρητῆ.

Ἐν τῷ μεταξὺ ὁ Einstein εἶχε ἐντυπωσιασθῇ ἀπὸ τὴν ἀσυμμετρίαν ποὺ παρουσίαζαν τὰ ἡλεκτρομαγνητικὰ φαινόμενα στὸ κλασσικὸ πλαίσιο. (Ἦταν γνωστὸ ὅτι οἱ ἐξισώσεις τοῦ Maxwell δὲν ἦταν ἀμετάβλητες σὲ σχέση μὲ τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Γαλιλαίου). Ἀλλὰ τέτοιου εἶδους ἀσυμμετρίες δὲν μπορούσαν, κατὰ τὸν Einstein, νὰ εἶναι σύμφυτες μὲ τὰ φαινόμενα. Ἐγκατέλειψε λοιπὸν τὶς κλασσικὲς ἀπόπειρες ἐρμηνείας καὶ ἀπέδειξε πὼς οἱ ἐξισώσεις τοῦ Maxwell, ἦταν ἀμετάβλητες σὲ σχέση μὲ μιὰ ἄλλη ὁμάδα μετασχηματισμῶν: τὴν ὁμάδα Lorentz.



Ὁ Einstein ἔθεσε δυὸ ἀξιώματα ὡς ἀφετηριακὸ σημεῖο τῆς εἰδικῆς σχετικότητας:

1) Ἐπεξέτεινε τὴν ἀρχὴ τῆς σχετικότητας στὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ φαινόμενα. 2) Θεώρησε ὅτι τὸ φῶς διαδίδεται στὸ κενὸ πάντα μὲ τὴν ἴδια ταχύτητα ( $3 \times 10^{10}$  cm/sec), ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν κίνηση τῆς φωτεινῆς πηγῆς. Τὰ δυὸ αὐτὰ ἀξιώματα, ἀσύμβατα ἀπὸ κλασσικὴ ἄποψη, ἐναρμονίζονται ἀπὸ τὴν ἄποψη τῶν μετασχηματισμῶν τοῦ Lorentz (οἱ μετασχηματισμοὶ αὐτοὶ εἶναι στὴν πραγματικότητα μιὰ μαθηματικὴ μεταγραφὴ αὐτῶν τῶν ἀξιομάτων) καὶ συμφωνοῦν ἀπόλυτα μὲ τὸ πείραμα<sup>9</sup>.

Ἔτσι ἡ πειραματικὴ καὶ θεωρητικὴ μελέτῃ τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀλληλεπίδρασης, ὠδήγησε στὸ ξεπέραςμα τῆς κλασσικῆς Φυσικῆς καὶ στὴ διατύπωση τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας. Ὁ αἰθέρας καὶ ὁ ἀπόλυτος χῶρος δὲν ἔχουν πλέον θέσιν στὸ σχετικιστικὸ σύμπαν. Καὶ καθὼς φανερῶνουν οἱ μετασχηματισμοὶ Lorentz, ἡ πεπερασμένη ταχύτητα τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀλληλεπίδρασης συνεπάγεται τὴ σχετικότητα τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου: Τὸ μῆκος δὲν εἶναι τώρα πιά ἀμετάβλητο· ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κίνησή του ὡς πρὸς τὸ σύστημα ἀναφορᾶς. Ἐπίσης δὲν ὑπάρχει πιά ἓνας ἀπόλυτος, παγκόσμιος χρόνος, ποὺ θὰ ἴσχυε γιὰ ὅλα τὰ ἀδρανειακὰ συστήματα. Καὶ ὁ χρόνος ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ταχύτητα τοῦ «ρολογιοῦ» ὡς πρὸς τὸ σύστημα ἀναφορᾶς. Ἀλλὰ τότε ὁ ἀπόλυτος συγχρονισμὸς δὲν ἔχει νόημα, οὔτε ἀπὸ θεωρητικὴ οὔτε ἀπὸ λειτουργικὴ ἄποψη. Μάλιστα σὲ ὀρισμένες περιπτώσεις (ἀπουσία αἰτιακῆς σχέσης), μπορεῖ νὰ ἀντιστραφῇ ἀκόμα καὶ ἡ χρονικὴ σχέση δύο γεγονότων.

Τότε, λοιπόν, σχετικότητα σημαίνει σχετικισμὸς (καὶ ὑποκειμενισμὸς); Ἀλλά, κατ' ἀρχήν, ὁ Einstein, ἀναζητώντας τὴν ἀμεταβλητότητα τῶν φυσικῶν νόμων ὡς πρὸς τὸ σύστημα ἀναφορᾶς, ἐξασφάλιζε τὴν ἀντικειμενικότητα αὐτῶν τῶν νόμων. Καὶ ἐπὶ πλέον: τρία χρόνια ἀργότερα ὁ Minkowski δημιούργησε ἓνα νέο χωροχρονικὸ πλαίσιο, ὅπου νέα, σχετικιστικὰ ἀπόλυτα μεγέθη, θὰ προέκυπταν ὡς σύνθεση σχετικῶν μεγεθῶν. Ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση ἔπαιξε καὶ ἐδῶ βασικὸ ρόλο.

Ὁ χῶρος καὶ ὁ χρόνος συνιστοῦν κατὰ τὸν Minkowski μιὰ ἐνότητα, ἓνα εἶδος συνεχοῦς, ἓνα χῶρο (μὲ τὴ γενικὴ, μαθηματικὴ ἔννοια) τοῦ ὁποῖου ὑποχώροι εἶναι ὁ χῶρος καὶ ὁ χρόνος χωριστά. Τὸ πλαίσιο τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν φαινομένων εἶναι λοιπόν τετραδιάστατο. Ἐνα σημεῖο τοῦ σύμπαντος τοῦ Minkowski χαρακτηρίζεται ἀπὸ 4 ἀριθμοὺς (3 χωρικὲς καὶ

9. Βλ. *The Principle of Relativity*, Dover Publ., καὶ τὶς αὐτοβιογραφικὲς σημειώσεις τοῦ Ἀϊνστάϊν στὸ: A. Einstein, *Philosopher-Scientist*, Evaston (Library of Living Philosophers) 1949.

1 χρονικῇ συντεταγμένη). Τὸ σύνολο τῶν σημείων τῆς τροχιᾶς ἐνὸς σωματίου, συνιστοῦν μιὰ κοσμικὴ γραμμὴ (*ligne d'univers*).

Τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα διαδίδονται πάνω στὴν ἐπιφάνεια ἐνὸς κώνου, τοῦ *χαρακτηριστικοῦ κώνου*. Ἐτσι ὁ τόπος τῆς διάδοσης τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων χωρίζει τὸ σύμπαν σὲ τρεῖς περιοχὲς ἀπόλυτου χαρακτήρα: τὴν περιοχὴ τοῦ παρελθόντος, τοῦ μέλλοντος καὶ τὴν περιοχὴ τοῦ ἄλλου.

Στὸ σύμπαν αὐτὸ τὰ χωροχρονικὰ διαστήματα εἶναι ἀμετάβλητα σὲ σχέση με τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Lorentz<sup>10</sup>. Ἄν λοιπὸν ὁ χῶρος καὶ ὁ χρόνος χωριστὰ εἶναι σχετικὰ μεγέθη, ἡ συνένωσή τους δημιουργεῖ ἓνα μέγεθος ἀμετάβλητο, ἄρα ἀπὸ μιὰ ἄποψη, ἀπόλυτο. Κατὰ ἀνάλογο τρόπο ἡ χρονολογικὴ σειρὰ εἶναι ἀπόλυτη, γιὰ γεγονότα ποὺ συνδέονται με αἰτιακὴ σχέση. Ἡ κατεύθυνση τῆς ροῆς τοῦ χρόνου εἶναι μοναδική, ἀπὸ τὸ παρελθὸν πρὸς τὸ μέλλον καὶ ἡ αἰτιακὴ σχέση ἔχει κι αὐτὴ ἀπόλυτο χαρακτήρα<sup>11</sup>. Στὸ πλαίσιο αὐτὸ πραγματοποιήθηκαν καὶ ἄλλες συνθέσεις σχετικῶν φυσικῶν μεγεθῶν, ποὺ ὀδηγοῦν σὲ νέα, ἀμετάβλητα μεγέθη. Ἡ πιὸ σημαντικὴ εἶναι ἡ σύνθεση τῆς μάζας (με τὴν κλασσικὴ ἔννοια) καὶ τῆς ἐνέργειας (με τὴν κλασσικὴ ἔννοια), σ' ἓνα νέο μέγεθος ποὺ ἐκφράζεται με τὸ τετραδιάνυσμα ὁρμῆς-ἐνέργειας<sup>12</sup>.

Ὁ τανυστικὸς χαρακτήρας τῶν σχετικιστικῶν μεγεθῶν ἐξασφαλίζει τὴν ἀμεταβλητότητά τους σὲ σχέση με τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Lorentz, ἄρα τὴν ἀνεξαρτησίαν τους ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς. Μ' αὐτὸ τὸν τρόπο ἡ μελέτη τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν ἀλληλεπιδράσεων ὠδήγησε στὴν κατανόηση τῆς ἐνότητας τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου καὶ σὲ μιὰ νέα ἀντίληψη τῶν σχέσεων χώρου, χρόνου καὶ κίνησης. Ὅλα τὰ κλασσικὰ μεγέθη μεταμορφώθηκαν ριζικὰ μέσα στὸ νέο ἐννοιολογικὸ πλαίσιο. Τὰ νέα μεγέθη εἶναι ἀσυμβίβαστα με τὴ μηχανιστικὴ ἀντίληψη.

Μέσα στὰ πλαίσια τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας, οἱ νόμοι τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ διατηροῦν ἀναλλοίωτη τὴ μορφή τους μόνο σὲ σχέση με μιὰ προνομιούχο τάξη συστημάτων ἀναφορᾶς: τὰ συστήματα ἀδρανείας. Ἐπὶ πλέον, ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση θεωρεῖται «ἐξωτερικὴ» σὲ σχέση με τὸ χῶρο τοῦ Minkowski: ἡ μορφή (ἢ ἡ μετρικὴ) αὐτοῦ τοῦ χώρου δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν παρουσία τῆς «ὕλης» ἢ τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου<sup>13</sup>.

10. Ἡ ἐκφραση τοῦ χωροχρονικοῦ διαστήματος εἶναι:  $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = -ds'^2$ . Ἡ ταχύτητα τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν ἀλληλεπιδράσεων ἐπεμβαίνει σ' αὐτὴ τὴν ἐκφραση, ποὺ ἀποκαλύπτει τὴν ἐνότητα τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου.

11. Βλ. τὸ πρωτότυπο τοῦ Minkowski στὸ: *The Principle of Relativity*, Dover Publ.

12. Τετραδιάνυσμα: διάνυσμα σὲ χῶρο τεσσάρων διαστάσεων.

13. Ἡ μετρικὴ αὐτὴ εἶναι:  $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} = (1, -1, -1, -1)$ . Ἡ ψευδοευκλείδεια αὐτὴ

Ὁ Einstein θέλησε νὰ γενικεύσῃ τὴν ἀρχὴ τῆς συμμεταβλητότητας (covariance) γιὰ ὅλα τὰ συστήματα ἀναφορᾶς, ἀδρανειακὰ ἢ μή. Οἱ νόμοι τῆς φύσης, ἔγραφε τὸ 1916, πρέπει νὰ ἐκφράζονται μὲ ἐξισώσεις ποὺ θὰ ἰσχύουν γιὰ ὁποιοδήποτε σύστημα ἀναφορᾶς, ποὺ θὰ διατηροῦν δηλαδὴ τὴν ἴδια μορφή (θάναι *covariantes*) σὲ σχέση μὲ ὁποιαδήποτε ἀλλαγὴ τοῦ συστήματος ἀναφορᾶς<sup>14</sup>. Ἀπὸ τὴ μέριμνα τοῦ Einstein γιὰ γενικὴ ἀμεταβλητότητα, γεννήθηκε ἡ γενικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας.

Ἀλλὰ ποῖο εἶναι τὸ συγκεκριμένο περιεχόμενο τῆς γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας; Ὁ νευτώνειος νόμος τῆς βαρύτητας, εἶναι τοῦ τύπου: στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση. Ὁ νόμος αὐτὸς εἶναι λοιπὸν ἀμετάβλητος ὡς πρὸς τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Γαλιλαίου, ὅχι ὁμῶς ὡς πρὸς τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Lorentz. Ὁ νόμος παρουσίαζε ἐπίσης μιὰ σειρὰ ἀπὸ ἀσυμφωνίες μὲ τὸ πείραμα (κίνηση τῶν μεγάλων πλανητῶν, κίνηση τῆς σελήνης, τοῦ πλανήτη τοῦ Encke, κλπ). Ὅλες οἱ προσπάθειες νὰ ἀπαλειφθοῦν αὐτὲς οἱ ἀσυμφωνίες μὲ τροποποίηση τοῦ νόμου μέσα στὰ κλασσικὰ πλαίσια, ἀπέτυχαν. Ὁ Einstein, ἀπορρίπτοντας γιὰ ἄλλη μιὰ φορὰ τὸ κλασσικὸ πλαίσιο, μπόρεσε νὰ διατυπώσῃ ἓνα νόμο ποὺ ἦταν σύμφωνος μὲ τὰ πειραματικὰ δεδομένα καὶ ποὺ ταυτόχρονα ἦταν ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς.

Ὁ νόμος αὐτὸς σημείωσε μιὰ νέα ἐπανάσταση στὴ Φυσικὴ. Ἡ ἐπανάσταση αὐτὴ συνδέθηκε, γιὰ μιὰ ἀκόμα φορὰ, μὲ μιὰ φυσικὴ ἀλληλεπίδραση: τὴ βαρυτικὴ.

Πραγματικά, ὁ νέος νόμος τῆς βαρύτητας δὲν εἶναι μόνον ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς, ἀδρανειακὸ ἢ μή. Ταυτόχρονα καταργεῖ τὸ τελευταῖο κατάλοιπο τῆς μηχανιστικῆς Φυσικῆς, τὴ δύναμη τῆς βαρύτητας, ἀπορροφώντας τὴν σὲ μιὰ γεωμετρικὴ δομὴ μεταβλητῆς μορφῆς. Ἀντίθετα μὲ τὸ χῶρο τοῦ Minkowski, ὁ χῶρος τῆς γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας εἶναι ἓνα εἶδος τετραδιάστατον συνεχοῦς μὲ μετρικὴ, ἄρα μὲ καμπυλότητα, ἡ ὁποία εἶναι συνάρτηση τῆς κατανομῆς τῶν ὑλικῶν μαζῶν. Πιο συγκεκριμένα, ἡ μετρικὴ αὐτὴ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κατανομὴ τῶν δυναμικῶν τῆς βαρύτητας, ποὺ μὲ τὴ σειρὰ τους καθορίζονται ἀπὸ τὴν κατανομὴ τῆς ὕλης. Ἔτσι ἡ ἀλληλεπίδραση δὲν εἶναι ἐξωτερικὴ ὡς πρὸς τὸ χῶρο, ὅπως οἱ κλασσικὲς δυνάμεις, ἢ ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση στὸ χῶρο τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας.

Ἡ γενικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας, ὡς φυσικὴ θεωρία ποὺ τὸ συγκεκρι-

μετρικὴ εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν παρουσία τῆς ὕλης μὲ τὴ στενὴ ἔννοια, ἢ τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου.

14. *The Principle of Relativity*, ὁ.π., σελ. 117.

κριμένο της περιεχόμενο είναι ἡ βαρυτική ἀλληλεπίδραση, οὐσιαστικοποίησε τὴν ἐνότητα τοῦ χώρου, τοῦ χρόνου, τῆς ὕλης καὶ τῆς κίνησης, στὰ πλαίσια ἐνὸς τετραδιάστατου συνεχοῦς, τοῦ ὁποίου ἡ μετρική, καὶ συνεπῶς ἡ μορφή, καθορίζεται ἀπὸ τὴν ἐνταση τοῦ δυναμικοῦ τῆς βαρύτητας, ἄρα ἀπὸ τὴν κατανομὴ τῆς ὕλης στὸ χωρόχρονο. Ἡ καμπυλότητα μεταβάλλεται ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο τοῦ συνεχοῦς. Ἀκόμα καὶ γιὰ τὸ ἴδιο σημεῖο, ἡ καμπυλότητα μεταβάλλεται μὲ τὸ χρόνο, σὲ συνάρτηση μὲ τὶς μεταβολές τοῦ δυναμικοῦ τῆς βαρύτητας, ποὺ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὶς μεταβολές τῆς κατανομῆς τῶν μαζῶν. Ἔτσι τὰ «μήκη» μεταβάλλονται ὄχι μόνον ἀπὸ τὸ ἓνα σημεῖο στὸ ἄλλο, ἀλλὰ ἀκόμα καὶ γιὰ τὸ ἴδιο σημεῖο, σὲ συνάρτηση μὲ τὸ χρόνο. Ὅμοια τὰ «ρολόγια» προχωροῦν μὲ διαφορετικοὺς ρυθμοὺς ἀπὸ τὸ ἓνα σημεῖο στὸ ἄλλο, ἀκόμα καὶ γιὰ τὸ ἴδιο σημεῖο, σὲ συνάρτηση μὲ τὸ χρόνο. Ἀλλὰ ἡ γενικὴ αὐτὴ σχετικότητα τῶν μεγεθῶν δὲν εἶναι παρὰ ἡ ἄλλη ὁψη μιᾶς γενικῆς συμμεταβλητότητας, δηλαδὴ ἀμεταβλητότητας τῆς μορφῆς, ἄρα ἀντικειμενικότητας, ἡ ὁποία ἐπιτεύχθηκε μὲ τὴ μελέτη τῆς βαρυτικῆς ἀλληλεπίδρασης.

##### 5. Ἡ «κβάντωση» τῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Οἱ ἠλεκτρομαγνητικὲς καὶ βαρυτικὲς ἀλληλεπιδράσεις θεωροῦνται συνεχεῖς στὰ πλαίσια τῶν κλασσικῶν θεωριῶν τοῦ πεδίου (προ-σχετικιστικῶν ἢ σχετικιστικῶν). Ἡ προ-σχετικιστικὴ καὶ ἡ σχετικιστικὴ Φυσικὴ (ἠλεκτρομαγνητισμός, θεωρία τῆς βαρύτητας) εἶναι λοιπὸν ἡ Φυσικὴ τοῦ συνεχοῦς. Ἡ μαθηματικὴ της δομὴ, καθὼς καὶ τὰ μαθηματικὰ μὲ τὰ ὁποῖα ἐκφράζονται οἱ νόμοι της (κλασσικὴ ἀνάλυση, διανυσματικὸς καὶ τανυστικὸς λογισμὸς κλπ.) ἀποτελοῦν, ἀπὸ τὴν πλευρὰ τους, μιὰ ἄλλη ἐκφραση τῆς συνέχειας.

Εἶναι ὥστόσο γνωστὸ ὅτι ὁ Planck μπόρεσε νὰ συμφιλιώσῃ τὸ 1900 τὴ θεωρία μὲ τὸ πείραμα, ὑποθέτοντας ὅτι ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία ἐκπέμπεται μὲ τρόπο ἀσυνεχῆ. Εἶναι ἐπίσης γνωστὸ ὅτι πέντε χρόνια ἀργότερα ὁ Einstein ἐρμήνευσε ὠρισμένα κρίσιμα φαινόμενα, δεχόμενος ὅτι ἡ ἀκτινοβολία αὐτὴ διαδίδεται ἐπίσης κατὰ διάκριτες ποσότητες, τὰ φωτόνια. Αὐτὸ ὑπῆρξε ἡ ἀφετηρία τῆς φυσικῆς τοῦ ἀσυνεχοῦς, ποὺ ἀνέτρεψε τὶς ἀντιλήψεις μας γιὰ τὴ δομὴ τῆς ὕλης καὶ γιὰ τοὺς φυσικοὺς νόμους. Καὶ αὐτὴ ἐπίσης ἡ ἀναστάτωση ξεκίνησε ἀπὸ τὴν πειραματικὴ καὶ τὴ θεωρητικὴ μελέτη μιᾶς ἀλληλεπίδρασης: τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς.

Ἡ «κβάντωση» τῶν ἀλληλεπιδράσεων (ἢ τῆς ἐνέργειας ποὺ μετρᾷ τὴν ἐντάσή τους) ὠδήγησε σὲ μιὰ νέα εἰκόνα τῆς πραγματικότητας. Οἱ «κβαντικὲς» ἐννοιες εἰσήχθησαν στὴ φυσικὴ τοῦ ἀτόμου ἀπὸ τὸν Niels

Bohr. Λίγα χρόνια αργότερα διαμορφώθηκε ή «κβαντική» μηχανική, με τούς νόμους της, που σημαδεύουν μιὰ ποιοτική αλλαγή στην ιστορία της επιστήμης. Ἡ «κβάντιση» καὶ τῶν ἄλλων ἀλληλεπιδράσεων (ἰσχυρῶν καὶ ἀσθενῶν) γενίκευσε τὸν ἀσυνεχῆ χαρακτήρα τῆς νέας Φυσικῆς. Οἱ θεωρίες τοῦ ἀτόμου, τοῦ πυρῆνα, τοῦ στερεοῦ σώματος, τῶν στοιχειωδῶν σωματίων, μετὰ δύο λόγια ὁλόκληρη ἡ μικροφυσική, οἰκοδομήθηκε μετὰ ἀφετηριακὸ σημεῖο τὴν κβάντιση τῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἐνα ἐλεύθερο σωματίο μπορεῖ νὰ ἔχη ὅποιαδήποτε ἐνέργεια. Ἀλλὰ ὅποιαδήποτε ἐνέργεια ποὺ ὀφείλεται στὴν ἀλληλεπίδραση μικροφυσικῶν συστημάτων, εἶναι πάντοτε «κβαντισμένη».

Ἡ θεωρητικὴ βάση τῆς σύγχρονης μικροφυσικῆς εἶναι ἡ «κβαντικὴ» μηχανική. Ἀλλὰ ἕνας κυματικὸς «φορμαλισμὸς» ἀποτελεῖ οὐσιαστικὸ τμῆμα αὐτῆς τῆς μηχανικῆς (μάλιστα ὑπῆρξε ἡ ἀφετηρία της, μετὰ τὴ διδακτορικὴ διατριβὴ τοῦ Louis de Broglie). Ἐτσι πολλοὶ μιλοῦν σήμερα γιὰ κυματομηχανική, καὶ ὁ ὅρος αὐτὸς καλύπτει, κάτω ἀπὸ τὸ κυματικὸ φαινόμενο, τὸ νέο χαρακτηριστικὸ τῆς νέας αὐτῆς επιστήμης. Ὁ ἰσχυρισμὸς ὅτι ἡ βαθύτερη αἰτία τῶν νέων νόμων εἶναι ἡ «κβάντιση» τῶν ἀλληλεπιδράσεων καὶ ὄχι ὁ δυαδικός, κυματο-σωματιδιακὸς χαρακτήρας τῶν μικροφυσικῶν συστημάτων, δὲν εἶναι χωρὶς θεμέλιο. Πολλοὶ Φυσικοὶ ἀμφισβητοῦν αὐτὴ τὴ δυαδικότητα καὶ θεωροῦν τὸ κυματικὸ φαινόμενο ὡς στατιστικὸ ἐπιφαινόμενο προερχόμενο ἀπὸ ὀρισμένες συμμετρίες καὶ κανόνες τοῦ μικροφυσικοῦ ἐπιπέδου<sup>15</sup>.

Τὸ quantum δράσης δεσπόζει στὴ σύγχρονη μικροφυσική. Ἀπὸ τὴν ὑπαρξὴ του προκύπτουν οἱ κανόνες ἀντιμετάθεσης τῶν τελεστῶν τῆς «κβαντικῆς» μηχανικῆς. Ἀλλὰ ἀπὸ τοὺς κανόνες αὐτοὺς προκύπτουν καὶ οἱ γνωστοὶ περιορισμοὶ σὲ ὅτι ἀφορᾷ τὴν ταυτόχρονη μέτρηση μεγεθῶν, τῶν ὁποίων οἱ ἀντίστοιχοι τελεστῆς δὲν ἀντιμετατίθενται (ὅπως π.χ. ἡ ὁρμὴ καὶ ἡ θέση). Τὸ quantum δράσης συνιστᾷ, σύμφωνα μετὰ τὴν ὀρθόδοξη σχολὴ (τῆς Κοπεγχάγης), ἕνα ἀνώτερο ὅριο στὴν ταυτόχρονη γνώση τῶν συζυγῶν μεγεθῶν τῆς «κβαντικῆς» μηχανικῆς. Ἀκόμα καὶ ἡ λογικὴ δομὴ τῶν προτάσεων τῆς νέας μηχανικῆς (μὴ-μπούλειο πλέγμα) σημαδεύεται ἀπὸ τὸ quantum δράσης ἄρα ἀπὸ τὴν ἀσυνέχεια τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Ἡ κατάσταση αὐτὴ σημάδεψε βαθιὰ τὴ σύγχρονη ἐπιστημολογία. Ἄν δὲν μποροῦμε νὰ μετρήσωμε τὴν ἴδια στιγμὴ τὴ θέση καὶ τὴν ὁρμὴ ἑνὸς σωματίου, τότε μιὰ «πλήρης» περιγραφὴ τῆς κίνησής του γίνεται ἀδύνατη. Μποροῦμε νὰ πετύχωμε εἴτε μιὰ χωρική, εἴτε μιὰ αἰτιακὴ περι-

15. Βλ. μετὰξὺ ἄλλων Α. Landè, *From Dualisme to Unity in Quantum Physics*, Cambridge Univ. Press. 1961.

γραφῇ. Οἱ δύο περιγραφές εἶναι συμπληρωματικές, ἄρα ἀμοιβαῖα ἀποκλειόμενες, σύμφωνα μὲ τὴν ὀρθόδοξη ἄποψη. Ἀλλὰ ἡ ἴδια ἐρμηνεία βεβαιώνει ὅτι ἓνα μέγεθος μὴ παρατηρήσιμο δὲν ὑπάρχει (Ἀρχὴ τῆς μὴ ὑπαρξης τῶν μὴ παρατηρήσιμων μεγεθῶν). Ἀλλὰ τότε, ἂν ἓνα σωματίο βρίσκεται κάπου (ἔχει ὠρισμένη θέση), τότε δὲν ἔχει ὁρμὴ καὶ ἀντίστροφα. Τὸ ἴδιο ἐπιχείρημα θὰ ἴσχυε καὶ γιὰ ἄλλα ζεύγη συζυγῶν μεγεθῶν. Ἡ κατάσταση αὐτή, μαζὺ μὲ τὸ στατιστικὸ χαρακτήρα τῆς νέας μικροφυσικῆς, ὠδήγησαν τοὺς ὁπαδοὺς τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης νὰ ἀρνηθοῦν τὸν αἰτιοκρατημένο χαρακτήρα τῶν «κβαντικῶν» φαινομένων, καθὼς καὶ τὴν ἀντικειμενικότητα τῶν διεργασιῶν καὶ τῶν ὄντοτήτων τῆς μικροφυσικῆς. Ὅριακά, μὲ βάση αὐτὲς τὶς ἰδιομορφίες, οἰκοδομήθηκε μιὰ ὑποκειμενικὴ ἀντίληψη τοῦ κόσμου.

Ὅλες αὐτὲς οἱ ἐπιστημονικὲς καὶ φιλοσοφικὲς ἀναστατώσεις εἶχαν ὡς ἀφετηριακὸ σημεῖο τὴν ἀνακάλυψη τοῦ quantum τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἀλλὰ μὲ τὰ ἴδια δεδομένα, θάταν ἐνδεχόμενα δυνατὴ μιὰ ἄλλη ἀντίληψη τῆς μικροφυσικῆς πραγματικότητας. Ἡ ἀφετηρία θάταν πάλι ὁ ἀσυνεχὴς χαρακτήρας τῶν ὄντοτήτων καὶ τῶν ἀλληλεπιδράσεων σ' αὐτὸ τὸ ἐπίπεδο.

Τὰ κβαντικὰ συστήματα δὲν εἶναι τὰ κλασσικὰ σωματίδια. Ἀντίστοιχα θὰ μπορούσαν νὰ μὴ θεωρηθοῦν ὡς σωματίδια - κύματα, ἢ ὡς κυματοδέσμες. Θάταν ὄντοτες μὲ κάποιο ἐντοπισμό, ὄντοτες σύνθετες, ποὺ κατέχουν ὠρισμένη δομὴ. Ἡ ἐννοια τῆς ἐσωτερικῆς δομῆς εἶναι μὲ τὴ σειρά τῆς δυναμικῆς ἐννοια: ἡ δομὴ δὲν εἶναι δεδομένη· εἶναι συνάρτηση τῶν συνθηκῶν. Ἐτσι τὸ μικροφυσικὸ σύστημα δὲν παρουσιάζεται ὡς ἀντικείμενο καθ' ἑαυτό, ἔξω ἀπὸ ὁποιοδήποτε καθορισμό. Τὰ μικροφυσικὰ συστήματα μπορούν νὰ θεωρηθοῦν ὡς ἡμι-ατομικά, ἢ ὡς συστήματα ἡμι-ανοικτὰ (ἀνοικτὰ-κλειστά). Οἱ ἐσωτερικὲς ἀλληλεπιδράσεις αὐτῶν τῶν συστημάτων δὲν μπορούν νὰ ἀγνοηθοῦν, καθὼς καὶ ἡ ἀλληλεπίδρασή τους μὲ τὸ περιβάλλον τους ἢ μὲ τὰ ὄργανα τῆς μέτρησης. Οἱ δύο τελευταῖοι τύποι ἀλληλεπιδράσεων ἐπηρεάζουν τὸ σύστημα, τροποποιώντας τὶς ἐσωτερικὲς δομές του.

Ἐτσι ἡ «κβαντομηχανικὴ» κίνηση δὲν ταυτίζεται μὲ τὴν κλασσικὴ. Εἶναι μιὰ κίνηση ἀκάνονιστη (aléatoire, τυχαία) ποὺ τροποποιεῖται ἀδιάκοπα ἐξ αἰτίας τῶν τυχαίων ἀλληλεπιδράσεων τοῦ σωματίου μὲ τὸ περιβάλλον του (ἢ μὲ τὸ ὄργανο τῆς μέτρησης). Ἡ τροποποίηση μπορεῖ νὰ εἶναι ποσοτικὴ ἢ ποιοτικὴ (τροποποίηση τῶν δομῶν του, καὶ σὲ ὠρισμένες συνθήκες μετατροπὴ τοῦ μικροσωματίου).

Μέσα σ' αὐτὸ τὸ πλέγμα σχέσεων, οἱ ἀνισότητες τοῦ Heisenberg δὲν εἶναι οὔτε ἀνεξήγητες οὔτε ἀποκαλύπτουν ἑλλειψη καθορισμοῦ. Μποροῦν νὰ θεωρηθοῦν ὡς σχέσεις στατιστικοῦ χαρακτήρα, ποὺ ἀφοροῦν κατὰ συ-

νέπεια στατιστικά σύνολα και όχι άτομικά σώματα. Οί σχέσεις αυτές εκφράζουν τή διασπορά, τις τυχαίες διακυμάνσεις τής τροχιάς και τής όρμης τών σωματίων, πού όφείλονται στις άτακτες άλληλεπιδράσεις με τó περιβάλλον τους.

Αντίστοιχα, οί πιθανότητες μπορούν να θεωρηθούν όχι ως έκφραση τού δñθεν άπροσδιόριστου τυχαίου. Η «κβαντομηχανική» κατάσταση είναι μιá ώρισμένη προσέγγιση στο «κβαντομηχανικό» σύστημα. Η είσαγωγή μιáς λεπτής ύφης τής καταστάσεως, όφειλόμενης στις τυχαίες διακυμάνσεις πού προκαλούνται από τις τυχαίες άλληλεπιδράσεις με τó περιβάλλον, θά μπορούσε να έρμηνεύση τήν ύπαρξη διαφορετικών όδών για τήν άλλαγή τής καταστάσεως. Έτσι ó συλλογισμός: από μιá άρχική κατάσταση, περισσότερες τελικές καταστάσεις, άρα, άπροσδιοριστία, παρουσιάζεται ως σχηματοποίηση τών πραγματικών φυσικών διεργασιών. Τέλος, οί πιθανότητες πού εμφανίζονται κατά τή μέτρηση, θά μπορούσαν να έρμηνευθούν από τις τυχαίες (aléatoires) διακυμάνσεις, δηλαδή από τή λεπτή ύφή, τόσο τού μικροσυστήματος, όσο και τού όργάνου μέτρησης. Και έδω έπίσης οί άρχικές συνθήκες δέν είναι ταυτόσημες. Η λεπτή δομή τής καταστάσεως τού στατιστικού συνόλου θάταν υπεύθυνη για τήν «έπιλογή» από κάθε άτομικό σύστημα τούτου ή εκείνου «ύποχώρου» στόν χώρο τών καταστάσεων τού όργάνου, κατά τή διάρκεια τής μέτρησης. Από αυτό τó δρόμο θά μπορούσε κανείς να προσδιορίση τó συγκεκριμένο περιεχόμενο τού όρου, κ β α ν τ ι κ ή σ τ α τ ι σ τ ι κ ή α ί τ ι ο κ ρ α τ ί α (déterminisme statistique quantique) πού δέν θάταν ή άρνηση τής αιτιότητας και τού καθορισμού (détermination) αλλά ή διαλεκτική άρνηση, άρα ή γενίκευση, τού δυναμικού καθορισμού.

#### 6. Η ύλοποίηση τών άλληλεπιδράσεων.

Προσπαθήσαμε να άναδείξωμε, μέσα από τις μεγάλες στιγμές τής Φυσικής, τó ρόλο τών φυσικών άλληλεπιδράσεων στη διατύπωση τών φυσικών θεωριών. Μερικές παρατηρήσεις έπιβάλλονται άκόμα έδω.

Η άλληλεπίδραση δέν είναι στις μέρες μας ή άσαφής όντολογική κατηγορία τών άρχαίων. Είναι έννοια έπιστημονική. Δέν είναι έπίσης μιá δύναμη άύλη και άκατανόητη, άν όχι μυστηριακή. Η άλληλεπίδραση έχει ύλοποιηθ ή. Έκφράζεται με τή βοήθεια ένός πεδίου, πού δέν είναι πλέον μιá άπλή παράσταση. Τó πεδίο είναι μιá πραγματικότητα: ύπάρχει ανεξάρτητα από τήν πηγή του, είναι φορέας ενέργειας, μάζας, όρμης, τροποποιεί τó γύρω του χώρο, έπηρεάζεται από τó πεδίο βαρύτητας, κλπ..... Έπί πλέον: αυτό πού είναι «πεδίο». σε μιá ώρισμένη στιγμή και σε καθωρισμένες συνθήκες, γίνεται «ύλη» σε άλλη στιγμή και σε συνθή-

κες διαφορετικές. Ὁ δυϊσμός ὕλης καὶ πεδίου ἀνήκει στὴν ἱστορία τῆς ἐπιστημονικῆς σκέψης. Κάτω ἀπὸ τὴ διαφορότητα τῶν μορφῶν, ἀποκαλύπτεται ἤδη ἡ ὄντολογικὴ ἐνότητα τῶν φυσικῶν συστημάτων καὶ τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Ἡ παλιὰ λοιπὸν τυπικὴ ἀντίθεση ἀνάμεσα στὸ πεδίο, ποὺ θεωρεῖται «ἄῦλο» καὶ τὴν «ὕλη», ἔχει ξεπερασθῇ. Φυσικὰ ὑπάρχουν βαθύτατες διαφορὲς ἀνάμεσα στὶς δυὸ πραγματικότητες. Τὰ *quanta* τοῦ ἡλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου, π.χ., διαδίδονται πάντα μὲ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, ἡ μάζα ἡρεμίας τους θεωρεῖται μηδενικὴ (πρᾶγμα ποὺ εἶναι ἀμφισβητήσιμο καὶ ποὺ ἤδη ἀμφισβητεῖται), ὑπακούουν στὴ στατιστικὴ Bose-Einstein καὶ συνεπῶς μποροῦν νὰ δημιουργοῦνται καὶ νὰ καταστρέφονται χωρὶς τοὺς περιορισμοὺς ὁποιοῦδήποτε νόμου διατήρησης τοῦ συνολικοῦ ἀριθμοῦ τους. Ἐπίσης τὰ κβάντα τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων ὑπακούουν στὴν ἴδια στατιστικὴ καὶ μποροῦν νὰ δημιουργοῦνται καὶ νὰ καταστρέφονται σὲ ἀπεριόριστους ἀριθμούς, ἀλλὰ ἐδῶ ἡ μάζα ἡρεμίας δὲν εἶναι μηδενικὴ, κλπ. Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, τὰ συστατικὰ τῶν ἀτόμων τῆς «ὕλης» (μὲ τὴ στενὴ ἐννοια), ἔχουν μάζα ἡρεμίας θετικὴ, ἀκολουθοῦν τὴ στατιστικὴ Fermi-Dirac, ἄρα δημιουργοῦνται καὶ καταστρέφονται κατὰ ζεύγη λεπτονίων-ἀντιλεπτονίων ἢ βαρυονίων - ἀντιβαρυονίων, ἔτσι ποὺ ὁ συνολικὸς λεπτονικὸς καὶ βαρυονικὸς ἀριθμὸς τοῦ συστήματος νὰ διατηρῆται σταθερός.

Ἐν τούτοις οἱ διαφορὲς αὐτὲς (καὶ πολλὲς ἄλλες) δὲ θεμελιώνουν καμιά τυπικὴ διχοτομία ἀνάμεσα στὴν ὕλη καὶ τὰ πεδία τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἀντίθετα: τὸ βασικὸ εἶναι ἡ φυσικὴ τους ἐνότητα. Οἱ ἀμοιβαῖοι μετασχηματισμοὶ τῶν διαφόρων τύπων στοιχειωδῶν σωματίων εἶναι μιὰ συνηθισμένη πρακτικὴ στὴ μικροφυσικὴ. Ἔτσι ἔχουν πιά ἐξαφανισθῇ τὰ ὅρια ἀνάμεσα σ' αὐτὸ ποὺ πρὶν ἀποκαλοῦσαν ὕλη ἀπὸ τὴ μιὰ καὶ πεδίο ἀπὸ τὴν ἄλλη καὶ συγκεκριμενοποιεῖται καὶ βαθαίνει ἡ ὄντολογικὴ ἐνότητα τῆς φύσης, ποὺ περιλαμβάνει πλέον ὅλες τὶς γνωστὲς μορφὲς σωματίων: τὰ συστατικὰ τῶν ἀτόμων καὶ τὰ *quanta* τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων.

Γνωρίζομε σήμερα πολλοὺς τύπους ἀλληλεπιδράσεων, ἄρα πολλὰ πεδία. Θάταν ἄραγε δυνατό νὰ ἀναχθοῦν οἱ γνωστὲς ἀλληλεπιδράσεις σὲ ἓνα καὶ μοναδικὸ πεδίο; Τὸ ἐρώτημα ἔχει τεθῇ ἀπὸ παλαιά. Ὁ Einstein προσπάθησε, χωρὶς ἐπιτυχία, νὰ ἐνοποιήσῃ τὴν ἡλεκτρομαγνητικὴ καὶ τὴ βαρυτικὴ ἀλληλεπίδραση. Πολλὲς παρόμοιες προσπάθειες συναντᾷ κανεῖς στὶς κβαντικὲς πεδιακὲς θεωρίες. Τὰ τελευταῖα χρόνια ὑπῆρξαν μερικὲς θετικὲς ἐνδείξεις σχετικὰ μὲ τὴν ἐνοποίηση τῶν ἡλεκτρομαγνητικῶν καὶ ἀσθενῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἐπίσης ὑπάρχουν θεωρητικὲς ἀποδείξεις γιὰ τὴ δυνατότητα νὰ μετατραπῇ ἡ ἐνέργεια τῶν βαρυτικῶν κυμάτων σὲ ἡλεκτρο-

μαγνητικό κύμα. Αὐτὲς οἱ συνθετικὲς ἀπόπειρες εἶναι ἐξαιρετικὰ σημαντικές. Ἀλλὰ δὲν πρέπει νὰ ἀγνοεῖται ὅτι ἡ ἐνοποίηση συμβαδίζει μὲ τὴ διαφοροποίηση καὶ ὅτι τὰ σημερινὰ μέσα, καὶ κυρίως τὰ αὐριανὰ μὲ τοὺς γιγάντιους ἐπιταχυντές, θὰ ἐπιτρέψουν ἴσως τὴν ἀνακάλυψη καὶ ἄλλων φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων, θέτοντας μ' αὐτὸ τὸν τρόπο νέα προβλήματα γιὰ λύση.

Τὸ κβάντο τῆς βαρυτικῆς ἀλληλεπίδρασης δὲν ἔχει ἀκόμα ἀνακαλυφθῆ, ἴσως ἐξ αἰτίας τῆς ἐξαιρετικῆς μικρότητάς του. Ἀλλὰ ὅλες οἱ ἄλλες ἀλληλεπιδράσεις εἶναι κβαντισμένες. «Κβάντωση», σημαίνει ἀσυνέχεια. Ἀλλὰ ἡ «κβαντική» ἀσυνέχεια δὲν ἀντιτίθεται τυπικὰ στὴ συνέχεια. Εἶναι γνωστὸς ἓνας μεγάλος ἀριθμὸς ἀπὸ φαινόμενα, ὅπου οἱ δυὸ ὄψεις εἶναι ἀξεχώριστες. Ἡ δυνατότητα νὰ οἰκοδομήσωμε μιὰ ἐνεργητικὴ κλίμακα ποὺ θὰ ἀντιστοιχῇ στὰ διάφορα ἐπίπεδα ὀργάνωσης τῆς ὕλης, θὰ μπορούσε νὰ θεωρηθῇ μιὰ ἀκόμα ἐκδήλωση τῆς διαλεκτικῆς συνέχειας-ἀσυνέχειας.

Ἔτσι, στὶς ἐνέργειες τῆς τάξεως τοῦ 1 e.v. ἀντιστοιχεῖ τὸ ἀτομικὸ ἐπίπεδο καὶ ἀποστάσεις τῆς τάξεως τῶν  $10^{-8}$  cm. Στὶς ἐνέργειες τοῦ 1 meV ἀντιστοιχεῖ τὸ ἐπίπεδο τῆς πυρηνικῆς φυσικῆς καὶ ἀποστάσεις τῆς τάξεως τῶν  $10^{-13}$  cm. Μὲ ἐνέργειες μερικῶν GeV, περνᾶμε στὴν περιοχὴ τῆς ὑποπυρηνικῆς φυσικῆς (περιοχὴ τῶν στοιχειωδῶν σωματίων). Οἱ ἀποστάσεις ἰώρα εἶναι τῆς τάξεως τῶν  $10^{-14}$ — $10^{-15}$  cm καὶ οἱ μετασχηματισμοὶ τῶν μορφῶν τῆς ὕλης γίνονται ὁ κανόνας. Τί θὰ συμβῇ πάνω ἀπὸ 30 GeV καὶ μάλιστα πάνω ἀπὸ 300 GeV; Θὰ ἔχωμε μιὰ νέα κλίμακα μαζῶν, νέους μετασχηματισμοὺς καὶ νέες ἀλληλεπιδράσεις; Ποιὲς θάναί οἱ ἀνατροπὲς τῶν ἀντιλήψεών μας γιὰ τὴ δομὴ τῆς ὕλης;

Ἐνα σωματίο σταθερὸ σὲ χαμηλὲς ἐνέργειες, ἀποσταθεροποιεῖται ἂν κατέχῃ ἀρκετὰ ὑψηλὴ ἐνέργεια. Στὶς ὑψηλὲς ἐνέργειες ὁ κανόνας εἶναι ἡ κινητικότητα, δηλαδή οἱ μετατροπές. Ἀλλὰ ἀκόμα καὶ στοὺς  $-273^{\circ}$ , ἡ κίνηση δὲν ἐξαφανίζεται: δὲν βρίσκομε ἐκεῖ χαμηλά, τὸ βασίλειο τῆς ἀκίνησις. Τὸ «ἀπόλυτο μηδέν» θεωρήθηκε γιὰ μιὰ μακρὰ περίοδο ὡς ἡ κατάσταση τῆς ὁλοκληρωτικῆς τάξης καὶ ἀκίνησις. Ὡστόσο ἡ κβαντικὴ μηχανικὴ ἀπέδειξε ὅτι ἀκόμα καὶ σ' αὐτὴ τὴ θερμοκρασία ἡ κίνηση παραμένει: πρόκειται γιὰ τὴν ἐνέργεια τοῦ μηδενικοῦ σημείου (zero point energy), ποὺ ἐπαληθεύεται ἀπὸ τὸ πείραμα<sup>16</sup>. Ἀλλὰ ἐνέργεια σημαίνει κίνηση, δηλαδή ἀλληλεπίδραση.

16. Τὸ ὑγρὸ ἥλιο δὲν στερεοποιεῖται σὲ θερμοκρασίες παραπλήσιες μὲ τὸ ἀπόλυτο μηδέν, σὲ κανονικὲς πιέσεις: οἱ κυμάνσεις τοῦ μηδενικοῦ σημείου ἀντισταθμίζουν τὶς δυνάμεις Van der Waals, καὶ ἔτσι γίνεται ἀδύνατος ὁ σχηματισμὸς κρυσταλλικοῦ πλέγματος, ἐκτὸς ἂν ἀσκηθοῦν ἐξαιρετικὰ ὑψηλὲς πιέσεις.

## 7. ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ.

Ἡ κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης, ποὺ ἀφορᾷ τὴν ἐνότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου, ἔχει τὴν ἴδια ἡλικία μὲ τὴ φιλοσοφία. Στὸ ξεκίνημά της ἦταν κενὴ ἀπὸ εἰδικὸ περιεχόμενο. Μὲ τὴ δημιουργία τῆς Φυσικῆς βρισκόμαστε μπροστὰ σὲ μιὰ ποιοτικὴ μεταμόρφωση: ἡ φυσικὴ ἀλληλεπίδραση γίνεται ἐννοια ἐπιστημονικὴ καὶ ἀποκτᾷ ἐντελῶς εἰδικὸ περιεχόμενο. Ἀλλὰ ἡ ἐπιστήμη δὲν εἶναι τόπος ξένος στὴ φιλοσοφία. Ὑστερα ἀπὸ μιὰ μακρὰ ὁδύσσεια 25 αἰώνων, φαίνεται νὰ πλησιάζουμε στὸ τέρμα ἐνὸς πρώτου περίπλου, ὅπου ἡ φυσικὴ μᾶς ὁδηγεῖ ξανά στὴ φιλοσοφία. Ἀλλὰ τὸ τέρμα δὲν συμπίπτει μὲ τὴν ἀφετηρία: ἡ γνώση βρίσκεται τώρα σ' ἓνα ἄλλο ἐπίπεδο καὶ οἱ σχέσεις ἐπιστήμης-φιλοσοφίας ἔχουν βαθιὰ μεταμορφωθῇ.

Ἡ ἐννοια τῆς ἀλληλεπίδρασης δὲν καθιστᾷ περιττὴ τὴν ἀντίστοιχη φιλοσοφικὴ κατηγορία. Τὸ ἀντίστροφο: μποροῦμε τώρα νὰ δοῦμε τὸ συγκεκριμένο πλοῦτο τοῦ εἰδικοῦ, μέσα ἀπὸ τὸ ὁποῖο ὁδηγούμεστε στὸ καθολικό. Ἡ φιλοσοφία, ποὺ καθὼς ἔγραφε ὁ Hegel, εἶναι στὸ ἔπακρο ἐχθρική στὸ ἀφηρημένο καὶ ἐπαναφέρει στὸ συγκεκριμένο, βγαίνει δυναμωμένη ἀπ' αὐτὴ τὴ σύζευξη.

Οἱ φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις ἀποτελοῦν προϋπόθεση γιὰ τὴν ἐνότητα — ὄντολογικὴ καὶ λειτουργικὴ — τοῦ φυσικοῦ κόσμου. Μιὰ ἀπὸ τίς συγκεκριμένες ἐκδηλώσεις αὐτῆς τῆς ἐνότητας, εἶναι οἱ πολλαπλοὶ καὶ ἀμοιβαῖοι μετασχηματισμοὶ τῶν μορφῶν τῆς ὕλης. Κατὰ τὴ διάρκεια αὐτῶν τῶν μετασχηματισμῶν διατηρεῖται ἓνας ὠρισμένος ἀριθμὸς φυσικῶν μεγεθῶν. Ἐτσι τὰ φαινόμενα μετασχηματισμοῦ διέπονται ἀπὸ ἀκριβεῖς κανόνες καὶ νόμους. (Οἱ νόμοι διατήρησης δὲν ἔχουν νόημα παρὰ χάρη στὸ μετασχηματισμό, πρᾶγμα ποὺ φανερώνει τὴν ἐνότητα τῶν δυὸ αὐτῶν ἀντίθετων ἐννοιῶν). Ἀλλὰ οἱ μετασχηματισμοὶ πραγματοποιοῦνται χάρη στίς φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις. Ἐτσι ἡ ἀλληλεπίδραση βρίσκεται, γιὰ μιὰ ἀκόμη φορά, στὸ κέντρο τῆς κίνησης τῆς πραγματικότητας.

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

Στὴν ἐποχὴ τῶν ἀλληλεπιδράσεων μὲ ἄπειρη ταχύτητα, οἱ φυσικοὶ ἤλπιζαν ὅτι τὸ σύνολο τῶν αἰτιακῶν σχέσεων θὰ μποροῦσε νὰ ἀναχθῇ στὸ μηχανιστικὸ πρότυπο αἰτιότητας καὶ καθορισμοῦ. Σύμφωνα μὲ τοὺς νόμους τῆς μηχανικῆς, ἡ αἰτία καθορίζει μονοσήμαντα τὸ ἀποτέλεσμα (πιθανότητα ἴση μὲ 1). Οἱ νόμοι τοῦ ἡλεκτρομαγνητισμοῦ, καθὼς καὶ οἱ ρελατιβιστικοὶ νόμοι τῆς βαρύτητας, δὲν εἶναι νόμοι μηχανιστικοί. Καὶ ἐδῶ ὥστόσο ἡ αἰτία καθορίζει μονοσήμαντα τὸ ἀποτέλεσμα. Μποροῦ-

με νὰ ὀνομάσωμε τὸ νέο αὐτὸ τύπο καθορισμοῦ, *δυναμικὸ καθορισμὸ* (*déterminisme dynamique*). Οἱ νόμοι ὅμως τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, καθὼς καὶ πολλοὶ νόμοι ἄλλων φυσικῶν ἐπιστημῶν, ἔχουν στατιστικὸ χαρακτήρα. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ ὠδήγησε πολλοὺς φυσικοὺς καὶ φιλόσοφους νὰ θεωρήσουν τὴν «κβαντικὴ» μηχανικὴ ὡς τὴν περιοχὴ τοῦ *τυχαίου* ποὺ εἶναι *ἀναίτιο*, ἢ τουλάχιστον ὄχι *καθωρισμένο* (*indéterminé*).

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

Μ' αὐτὸ τὸν τρόπο γίνεται φανερό ὅτι τὸ τυχαῖο δὲν εἶναι μιὰ ἀπλᾶ γνωσιολογικὴ, ἀλλὰ ἐπίσης ὀντολογικὴ κατηγορία. Εἶναι ἀντικειμενικὴ, ποὺ σημαίνει ἀφορᾷ τὴν ἴδια τὴν πραγματικότητα κι ὄχι μονάχα τὴ γνώση μας γι' αὐτήν. Τὸ τυχαῖο θὰ μπορούσε νὰ θεωρηθῇ ὡς ἡ διαλεκτικὴ ἄρνηση τῆς ἀναγκαιότητας.

Ἡ ἀλληλεπίδραση, θεμελιώδης ὀντολογικὴ κατηγορία, συνδέεται ἀπὸ τὴν ἴδια τὴν ἀσαφή, ποιοτικὴ καὶ συχνὰ μυστικοποιημένη γέννησή της, μὲ θεμελιώδεις φυσικὲς καὶ κοσμολογικὲς ἔννοιες. Ἀκόμα καὶ ἡ γενεαλογία τῶν βασικῶν ἐννοιῶν τῶν μαθηματικῶν, δὲν μπορεῖ νὰ ἀποκοπῇ ἀπὸ τὴν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης.

Τὰ συμπαγῆ καὶ μὲ σαφῆ ὅρια ἄτομα τῶν ἀρχαίων κινοῦνται στὸ κενό, ποὺ εἶναι τὸ μηδέν: ἄρνηση τοῦ Εἶναι, ὅμοιο σ' ὅλα τὰ σημεῖα του, χωρὶς ποιότητα καὶ χωρὶς «διαφορές». Τὸ κενὸ εἶναι ἄπειρο, ὅπως καὶ ὁ χρόνος. Μέσα σ' αὐτὸ τὸ σύμπαν μεταδίδονται οἱ ἀλληλεπιδράσεις μὲ ἄπειρη ταχύτητα, ποὺ εἶναι ἐξωτερικὲς ὡς πρὸς τὸ χῶρο. Ἡ εὐκλείδεια γεωμετρία ἀντιστοιχεῖ σ' αὐτὴ τὴ μηχανιστικὴ ἐξιδανίκευση τῶν σχέσεων ὕλης-χῶρου-ἀλληλεπιδράσεων. Δὲν εἶναι τυχαῖο ὅτι ὁ εὐκλείδειος χῶρος εἶναι ὁ χῶρος τῆς κλασσικῆς μηχανικῆς μὲ τὶς στιγμιαίες ἀλληλεπιδράσεις της. Ἄν ἡ ἀλληλεπίδραση δὲν εἶναι στιγμιαία, ὁ χῶρος καὶ ὁ χρόνος δένονται σὲ ἓνα συνεχές καὶ ὁ εὐκλείδειος χῶρος πρέπει νὰ ἀντικατασταθῇ ἀπὸ τὸν ψευδο-εὐκλείδειο χῶρο τοῦ Μινκόφσκι.

Ἄς φαντασθοῦμε τὸ χῶρο τοῦ Ἀριστοτέλους, ὅπου τὸ κενὸ εἶναι ἀδιανόητο, γιὰτὶ ἀνάμεσα στ' ἄλλα δὲν συνέπαγεται καμμιά «διαφορά». Τὸ ἀριστοτελικὸ σύμπαν εἶναι πεπερασμένο καὶ ἡ ὕλη πληροῖ τὸ πᾶν. Ὁ χῶρος εἶναι συνεχῆς ἀπ' ἄκρη σ' ἄκρη, οἱ ἀλληλεπιδράσεις εἶναι ἐξελικτικὲς

διαδικασίες, καὶ τὸ ἄπειρο εἶναι δυνάμει, ὄχι ἐνεργείᾳ. Ἄς φαντασθοῦμε σὲ συνέχεια τὸ σύμπαν τοῦ Καρτεσίου, ὅπου ὁ χῶρος εἶναι ἀδιαχώριστος ἀπὸ τὴν ὕλη, κι' ὅπου ὁ ὅρος ἄπειρο ἐπιφυλάσσεται στὸ Θεό. Ἄν κάμωμε ἓνα ἀκόμα βῆμα καὶ δεχθοῦμε ὅτι ὁ χῶρος διαμορφώνεται ἀπὸ τὴν ὕλη καὶ τὶς ἀλληλεπιδράσεις της, περνᾶμε στὸ σύμπαν τῆς σχετικότητας, μὲ τὴ «ρημάνεια» γεωμετρία του. Οἱ ἀναλογίες αὐτὲς καὶ αὐτὰ τὰ δρομολόγια πρὸς τὸ παρελθὸν (καὶ ἀπὸ τὸ παρελθὸν) δὲν εἶναι, ἴσως, οὔτε αὐθαίρετα οὔτε χωρὶς χρησιμότητα\*.

---

\* Ἐπιθυμῶ νὰ εὐχαριστήσω τὸν Dr M. Paty, Maître de Recherche στὸ CNRS, γιὰ τὶς κριτικὲς παρατηρήσεις του στὸ γαλλικὸ πρωτότυπο αὐτοῦ τοῦ ἄρθρου.

## L'INTERACTION, NOYAU CONCEPTUEL DES THÉORIES PHYSIQUES

### Résumé.

Le present texte constitue un effort de mettre en relief le rôle des interactions physiques dans la formulation des théories physiques. Après une référence à la catégorie de l'interaction dans la philosophie grecque ancienne, on passe à la physique moderne. On montre, comment l'interaction à vitesse infinie, constitua le noyau conceptuel de la mécanique et de la physique classique plus généralement. C'est l'étude de l'interaction électromagnétique qui provoqua, en XIXe siècle, la crise de la physique mécaniste. L'interaction à vitesse finie constitua, à son tour, le noyau conceptuel de la physique relativiste, et de la théorie de la gravitation d'Einstein. On analyse par la suite comment la quantification des interactions physiques constitua le point de départ et le noyau des théories quantiques. Les caractéristiques de ces théories, incompatibles avec le cadre conceptuel classique, sont marquées par la discontinuité des interactions. La question de l'unité du monde physique est finalement abordée, sous le lumière de l'unité des interactions physiques.

Athènes

Eftichios Bitsakis