

ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ*

*Συλλάψεις ὅλα καί οὐχ ὅλα
συμπερόμενον διαφερόμενον
συνᾶδον διαᾶδον
ἐκ πάντων ἔν
καί ἐξ ἑνός πάντα
Ἡράκλειτος*

Θά ἀναλύσουμε τώρα τό ρόλο τῆς ἔννοιας τῆς ἀλληλεπίδρασης στή διαμόρφωση τῶν φυσικῶν θεωριῶν, καί γενικότερα στή λειτουργία τῆς φυσικῆς πραγματικότητας. Ὁ στόχος ὅμως αὐτοῦ τοῦ κεφαλαίου δέν εἶναι ἱστορικός. Μέσα ἀπό τήν ἱστορική θεώρηση ἐπιχειρεῖ νά ἀναδείξει τήν ἐπιστημολογική καί τή φιλοσοφική σημασία τῆς ἔννοιας τῆς ἀλληλεπίδρασης, καθώς καί ὀρισμένα χαρακτηριστικά τοῦ κόσμου τῆς μικροφυσικῆς, τά ὁποῖα θά μπορούσαν νά λειτουργήσουν στό ἐσωτερικό μιᾶς θεωρίας τοῦ εἶναι.

Ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι πράγματι κεντρική ἔννοια τῶν φυσικῶν θεωριῶν. Μάλιστα, ἡ ἀντίληψη πού εἶχαν γι' αὐτήν οἱ φυσικοί, ἀπετέλεσε τό ἀφετηριακό σημεῖο μερικῶν ἀπό τίς μεγάλες ἐπαναστάσεις στή φυσική (σχετικότητα, κβάντα) καί καθόρισε τό χαρακτήρα τῶν ἀντίστοιχων περιοχῶν αὐτῆς τῆς ἐπιστήμης. Θά ἐπιχειρήσουμε νά δείξουμε, μέ ποιό τρόπο ἡ ἀλληλεπίδραση, ἀπό φιλοσοφική κατηγορία μεταμορφώθηκε σέ φυσική ἔννοια, καί ποιός ἦταν ὁ ρόλος της στήν ἐξέλιξη τῆς φυσικῆς. Τέλος θά ἐπιχειρήσουμε νά δείξουμε ὅτι, παρά τήν ποιοτική διαφορά της, ἡ φιλοσοφική κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης καί ἡ ἀντίστοιχη φυσική ἔννοια βρίσκονται σέ διαλεκτική σχέση.

* Τό κείμενο αὐτό ἀποτελέσε μιά εἰσήγηση στό C.E.R.M. (Παρίσι, 1976). Δημοσιεύθηκε, σέ Ἑλληνική ἀπόδοση, στή ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ (Ἐπετηρίδα τοῦ Κέντρου Ἑλληνικῆς Φιλοσοφίας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν), ἀρ. 7 (1977), σελ. 87 - 109.

2.1. Οί πρόδρομοι

Ἡ νόηση ἐπιχείρησε, ἀπό τίς πρῶτες θεωρητικές - ὀρθολογικές ἐκδηλώσεις της, νά συλλάβει τήν ἐνότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου μέσα ἀπό τή διαφορότητα τῶν μορφῶν του. Ἡ προσπάθεια αὕτη εἶναι ιδιαίτερα ἐκδηλη στήν ἀρχαία ἑλληνική φιλοσοφία.

Ἡ κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης ἐμφανίζεται συχνά ἐδῶ σάν ὄντολογική κατηγορία καί θεμελιώνει τήν ἐνότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου.

Εἶναι ἀλήθεια ὅτι δύσκολα μπορεῖ κανεῖς νά κατανοήσει τήν ἐνότητα ἐνός κόσμου πού οἰκοδομεῖται ἀπό ἀριθμούς, ὅπως τό σύμπαν τῶν Πυθαγορείων, καί θάταν ἀφέλεια νά ἀναζητήσουμε κάποια ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα σέ ἀριθμούς. Τό ἴδιο θά μπορούσε νά εἰπωθεῖ - ὡς ἕνα βαθμό - γιά τό εἶναι τῶν Ἐλεατῶν, πού παραμένει ἀμετάβλητο, ὁμοιόμορφο, ἀφθαρτο καί ἀδημιούργητο, αἰώνια ταυτόσημο μέ τόν ἑαυτό του. Ἡ ἴδια βεβαίωση θά ἴσχυε τέλος γιά τό πλατωνικό σύμπαν, πού εἶναι ὁ κόσμος τῶν ἰδεῶν: τῶν καθαρῶν μορφῶν.

Ἡ ἑλληνικός ἰδεαλισμός δέν μπόρεσε νά συναντήσῃ τήν πραγματική φύση. Ἀντίθετα οἱ ἀτομιστές - γιά τούς ὁποίους τό σύμπαν ἀποτελεῖται ἀπό τά ἄτομα καί τό κενό - ἀντιμετώπισαν ἤδη τήν ὑπαρξη ἀλληλεπιδράσεων ἀνάμεσα στά ὑλικά σώματα. Πρόκειται γιά «ἀπορροές», γιά «ὁμοιώματα», πού ἀποτελοῦνται ἀπό λεπτεπίλεπτη ὕλη, ἐκπέμπονται ἀπό τά σώματα, καί προκαλοῦν τά αἰσθήματα μέ τήν ἐπίδρασή τους στά αἰσθητήρια ὄργανα. Ἡ θεωρία εἶναι ἀσαφής καί ἀπλοϊκή. Ὡστόσο εἶναι φανερή μιά ὠρισμένη ἀναλογία μέ τή σύγχρονη ὀπτική. Ἐπίσης οἱ συνδυασμοί τῶν ἀτόμων, ἀπ' ὅπου γεννιοῦνται τά μακροσκοπικά σώματα, προϋποθέτουν κάποιες ἀλληλεπιδράσεις ἀνάμεσα στίς στοιχειώδεις αὐτές ὀντότητες.

Ὡστόσο, μόνο στίς διαλεκτικές φιλοσοφίες βρίσκει κανεῖς τήν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης νά λειτουργεῖ στό κέντρο τῆς θεωρίας τοῦ εἶναι. Γιά τόν Ἡράκλειτο, ἡ ἐνότητα τοῦ κόσμου εἶναι δεδομένη: ἐν τό πᾶν. Ἡ ἐνότητα συνυπάρχει μέ τήν ὑλικότητα: τόν κόσμο δέν τόν ἐδημιούργησε κανεῖς ἀπό τούς θεούς ἢ τούς ἀνθρώπους. Ἐπί πλέον, τό πρωταρχικό στοιχεῖο του δέν εἶναι κάποιο στοιχεῖο παθητικό· εἶναι ἡ φωτιά, πού συμβολίζει τήν κίνηση καί βρίσκεται σέ ἀδιάκοπη μεταμόρφωση. Οἱ μεταμορφώσεις τῆς ἀείζωτης φωτιᾶς ὑπακούουν σέ νόμους, καί προϋποθέτουν τήν ἀδιάκοπη ἀλληλεπίδραση τῶν μερῶν της. Ἀλλά ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι ἀντιθετική: τό πᾶν γεννιέται ἀπό τήν πάλη καί τήν ἐνότητα τῶν ἀντίθετων. Ἔτσι ὁ κόσμος, αἰώνιο γίνεσθαι, εἶναι ἀρμονία τῶν ἀντίθετων καί τά μέρη του καθορίζονται ἀμοιβαῖα. Ἡ φωτιά, παρά ταῦτα, δέν εἶναι ἀκόμα ἡ ὕλη τῆς σύγχρονης φυσικῆς, πολύμορφη μέσα στήν ἐνότητά της. Ἀντίστοιχα καί ἡ ἀλληλεπίδραση

είναι μιά κατηγορία χωρίς φυσικό περιεχόμενο, πού δέν ὑπάρχει μέ εἰδικές καί μετρήσιμες μορφές, καί δέν ὀδηγεῖ σέ ποσοτικά (καί μετρήσιμα) ἀποτελέσματα. Ἡ φιλοσοφία εἶναι ἀκόμα μορφή θέασης καί ἐρμηνείας τοῦ κόσμου: δέν ἀναδύεται ἀπό τό χῶρο τῶν ἐπιστημῶν, γιατί ἐπιστήμη, μέ τή σημερινή ἔννοια, δέν ὑπάρχει ἀκόμα.

Ἡ ἀτμόσφαιρα εἶναι παρόμοια στήν ἀριστοτελική φιλοσοφία: *Ἡμῖν δι' ὑποκείσθω τά φύσει ἢ πάντα ἢ ἔν κινούμενα εἶναι.* Καθώς ἡ φύση εἶναι ἀρχή κίνησης καί ἀλλαγῆς, ἡ ἔρευνα δέν μπορεῖ νά ἀγνοήσῃ αὐτό τό θεμελιακό γεγονός: *Ἐπεὶ δ' ἡ φύσις μὲν ἐστὶν ἀρχὴ κινήσεως καί μεταβολῆς, ἡ δὲ μέθοδος ἡμῖν περὶ φύσεως ἐστὶ, δεῖ μὴ λανθάνειν τί ἐστὶ κινήσεις· ἀναγκαῖον γάρ ἀγνοουμένης αὐτῆς, ἀγνοεῖσθαι καί τὴν φύσιν.* Τό σύμπαν γιὰ τόν Ἀριστοτέλη ἔχει δυναμικό χαρακτήρα: ἡ κίνηση καί ἡ ἀλλαγή δέν ἐπιβάλλονται στήν ὕλη ἀπό κάποιον ἐξωτερικό παράγοντα. Εἶναι ἐνδογενεῖς ἀρχές μιᾶς ὁλότητας πού βρίσκεται σέ ἀέναη αὐτοανάπτυξη. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι ὑπάρχει σκοπιμότητα σ' αὐτή τὴν κίνηση: *ἡ ἐντελέχεια.* Ἀλλά ἡ σκοπιμότητα ὑπάρχει μέσα στό ἴδιο τό εἶναι, ἀπ' ὅπου ὁ δυναμικός χαρακτήρας τῆς κίνησης, τῆς κατηγορίας τοῦ *δυνάμει* καί τῶν ἄλλων κατηγοριῶν τῆς ἀριστοτελικῆς θεωρίας τοῦ εἶναι.

Τά μέρη τοῦ εἶναι καθρίζονται ἀμοιβαῖα, χάρη στήν ἀλληλεπίδραση. Ἡ δράση αὐτὴ συνιστᾷ τὴ βάση τῶν φυσικῶν νόμων καί τῆς αἰτιότητας. Καί ἀξίζει νά σημειωθεῖ ὅτι μιά ἀπό τίς αἰτίες (καί ὄχι ἡ λιγώτερο σημαντικὴ) γιὰ τὴν ἀπόρριψη τοῦ κενοῦ ἀπὸ τόν Ἀριστοτέλη, εἶναι ὅτι ἐκεῖ ἡ ἡρεμία εἶναι ἀναπόφευκτη, γιατί τό κενό σάν τέτοιο δέν ἐνέχει καμιά *διαφορά*. Ἡ ὕλη εἶναι πανταχοῦ παρούσα, ἄρα ἡ «διαφορά», ἄρα ἡ ἀλληλεπίδραση, ἀπ' ὅπου γεννιέται ἡ κίνηση. Ἐπίσης ἡ σχέση ἀνάμεσα στό *δυνάμει* καί τό *ἐνεργεία* εἶναι διαλεκτική: προϋπὸθέτει τό μετασχηματισμό πού δέν ἀποτελεῖ ἄρνηση τῆς διατήρησης, ἐφόσον ἐκεῖνο πού εἶναι ἐνεργεία ἀποτελεῖ μέτρο αὐτοῦ πού εἶναι δυνάμει. Ἀκόμα καί τό ἄπειρο εἶναι δυνάμει, γιατί καί αὐτό εἶναι γίνεσθαι. Δέν εἶναι πραγματοποιημένο, ἄρα δέν ἐκφράζει κάποια στάσιμη κατάσταση. Ἡ ἀλληλεπίδραση παραμένει καί ἐδῶ ἀφηρημένη. Ἀλλά τό δυναμικό αὐτό σύμπαν, ὅπου ὁ χῶρος εἶναι ἀκατανόητος χωρὶς τὴν ὕλη καί ὅπου κατὰ συνέπειαν ἡ ὕλη καί ἡ ἀλληλεπίδραση εἶναι πανταχοῦ παρούσες, προαναγγέλλει, ἀπὸ ἓνα ἄλλο χῶρο, τὴ δυναμικὴ ἀντίληψη τοῦ Καρτέσιου καί τοῦ Ἀϊνστάιν καθὼς καί τῶν κβαντικῶν θεωριῶν τοῦ πεδίου, ὅπου, ἀντίθετα μέ τό μηχανιστικό σύμπαν τοῦ Νεύτωνα, ἡ ἀλληλεπίδραση ἀναδικνύεται φυσικός φορέας ἀνάμεσα σέ φυσικὲς ὀντότητες.

Ἐπιπλέον ἀπορροές, ἔλξη, ἀπώθηση, ἔρως καί μῖσος, πάλιν τῶν

ἀντίθετων, ἀγώνας ἀνάμεσα σέ φυσικά στοιχεῖα καί ἀγώνας ἀνάμεσα σέ στοιχεῖα θεοποιημένα, εἶναι μερικές ἀπό τίς ἔννοιες πού χρησιμοποίησαν οἱ Ἀρχαῖοι γιά νά συλλάβουν τήν κίνηση καί τήν ἀλλαγή, πού προϋποθέτουν τήν ἀλληλεπίδραση. Ὡστόσο τίς συγκεκριμένες μορφές τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων θά τίς ἀνεκάλυπτε ἡ φυσική στούς νεώτερους χρόνους. Ἡ ἀλληλεπίδραση θά γινόταν τότε - μέ μιά ποιοτική μεταλλαγή - *φυσική ἔννοια*, δηλαδή ἔννοια εἰδική, ἐπιστημονικά λειτουργική, σχετιζόμενη μέ τό πείραμα καί εἰδικώτερα μέ τή μέτρηση.

2.2. Ἡ ἀλληλεπίδραση σά φυσική ἔννοια

Ἡ ἔννοια τοῦ φυσικοῦ νόμου ὑπάρχει δυνάμει στήν ἑλληνική φιλοσοφία, μέ τή μορφή τῆς φιλοσοφικῆς κατηγορίας: πρόκειται γιά τό Λόγο τοῦ Ἡράκλειτου, τό λόγο καί τήν ἀνάγκη τῶν ἀτομικῶν, κλπ. Ἐτοί - νεώτερους χρόνους ὁ νόμος ἔγινε ἔννοια ἐπιστημονική: ἀφορᾶ μιά εἰδική κατηγορία φαινομένων, παίρνει συχνά τή μορφή μαθηματικῆς σχέσης, προϋποθέτει τή μέτρηση, ἐπαληθεύεται ἢ ἀνασκευάζεται ἀπό τό πείραμα. Πρόκειται γιά τήν ἀντίληψη τοῦ Κέπλερ, τοῦ Γαλιλαίου, τοῦ Νεύτωνα καί τῶν ἄλλων θεμελιωτῶν τῆς Φυσικῆς.

Νόμος, ὥστόσο, σημαίνει δράση - ἄρα ἀλληλεπίδραση. Ἡ κίνηση γεννιέται ἀπό τήν ἀλληλεπίδραση (βαρυτική, ἠλεκτρική, κλπ.) καί γεννᾷ τήν ἀλληλεπίδραση. Ἀλλά ἡ κίνηση δέν εἶναι πλέον ἡ γενική κατηγορία τοῦ γίνεσθαι. Μέ τήν ἐξειδίκευση μεταμορφώνεται ποιοτικά: γίνεται συγκεκριμένη μορφή φυσικῆς κίνησης. Ἀντίστοιχα ἡ ἐπιστήμη ὀρίζεται, ἀπό τά πρῶτα τῆς στάδια, σά μελέτη τῆς κίνησης. Στήν ἀρχή, κίνηση σημαίνει κυρίως μετατόπιση. Ἀλλά μέ τήν ἐμβάθυνση τῆς ἐξειδικευμένης γνώσης, ἡ κίνηση ξαναβρίσκει, σέ νέους χώρους καί μέ εἰδικό περιεχόμενο, τήν ἀρχέγονη σημασία τῆς: μετασχηματισμός, ἐξέλιξη, σύνθεση ἢ ἀποικοδόμηση, μέ μιά λέξη, *ποιοτική μεταβολή*. Ἐτσι ἡ ἀκίνησια καί ἡ σταθερότητα ἐμφανίζονται, ὅλο καί πῶς συγκεκριμένα, σά στιγμές μιᾶς ἔννοιας πού τίς ξεπερνᾷ: τῆς κίνησης.

Ἡ φυσική ἔχει ἀνακαλύψει ὄρισμένες μορφές φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Στήν εποχή τοῦ Νεύτωνα οἱ ἀλληλεπιδράσεις (καί εἰδικότερα ἡ βαρυτική) ἐθεωροῦντο δυνάμεις μέ ἄπειρη ταχύτητα. Ἡ αἰτιατική σχέση καί ὁ καθορισμός ἦταν λοιπόν φαινόμενα στιγμιαῖα. Μετά τή σχετικότητα, ἡ ἀντίληψη αὐτή ἐγκαταλείφθηκε ἀπό τή φυσική. Οἱ ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται πράγματι μέ πεπερασμένη ταχύτητα καί ἡ αἰτιότητα καί ὁ καθορισμός πραγματοποιοῦνται χάρι σέ ἐξελικτικές διαδικασίες ἀνάμεσα σά φυσικά συστήματα.

Σήμερα, ὅπως σημειώσαμε στό προηγούμενο κεφάλαιο, εἶναι γνωστές τέσσερις μορφές ἀλληλεπιδράσεων:

α) *Οί ισχυρές αλληλεπιδράσεις.* Άσκοῦνται ἀνάμεσα στά μικροσωμάτια πού λέγονται *ἀδρόνια* (πρωτόνια, νετρόνια, μεσόνια, κλπ.). Εἶναι ὑπεύθυνες γιά τή σταθερότητα τῶν πυρήνων, γιά ἕνα μεγάλο ἀριθμό μετασχηματισμῶν μικροσωματίων καί γιά ἄλλα φαινόμενα. Τό πεδίο αὐτῶν τῶν αλληλεπιδράσεων ἀποτελεῖται ἀπό π-μεσόνια καί ἡ ἀκτίνα δράσεώς του εἶναι ἐξαιρετικά μικρή, τῆς τάξεως τῶν 10^{-13} cm, ὅπως καί ὁ χαρακτηριστικός χρόνος τους: 10^{-23} sec.

β) *Ἡ ἠλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση.* Ἄν δώσουμε στήν ἰσχύ τῶν ἰσχυρῶν αλληλεπιδράσεων τήν αὐθαίρετη τιμή 1, τότε ἡ τιμή τῆς ἰσχύος τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς εἶναι τῆς τάξεως 10^{-4} . Τό πεδίο αὐτῆς τῆς αλληλεπίδρασης εἶναι τό φωτονικό, καί ἡ ἀκτίνα δράσεώς της θεωρητικά ἄπειρη. Ἡ ἠλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ἀποτελεῖ τή βάση τῆς ἠλεκτρικῆς ἐπιστήμης καί τεχνολογίας, τῶν τηλεπικοινωνιῶν εἰδικώτερα, τῶν χημικῶν, γεωλογικῶν καί βιολογικῶν φαινομένων, κ.λπ.

γ) *Οἱ ἀσθενεῖς αλληλεπιδράσεις.* Εἶναι ἐξαιρετικά ἀσθενεῖς. Ἡ ἰσχύς τους εἶναι τῆς τάξης τῶν 10^{-13} καί ἡ ἀκτίνα τους μικρότερη ἀπό 10^{-15} cm. Τό πεδίο τους ἀποτελεῖται ἀπό τά σωματῖα W^+, W^-, W^0 (ἐνδιάμεσα μποζόνια). Εἶναι ὑπεύθυνες γιά ἕνα ἀριθμό μετατροπῶν στήν περιοχὴ τῶν μικροσωματίων, καί εἰδικότερα γιά τή ραδιενέργεια β τῶν πυρήνων.

δ) *Ἡ βαρυτική αλληλεπίδραση* τέλος, εἶναι ἰδιαίτερα ἀσθενής: ἡ ἰσχύς της εἶναι τῆς τάξης τῶν 10^{-38} . Ἐχει πιθανόν τό κβάντο της - τό βαρυτόνιο - ἡ ἀκτίνα δράσεώς της εἶναι θεωρητικά ἄπειρη καί εἶναι ὑπεύθυνη γιά ὅλα τά γήϊνα καί τά κοσμικά φαινόμενα πού ὀφείλονται στήν ἀμοιβαία ἔλξη τῶν ὑλικῶν σωμάτων.

Ἡ ἀνακάλυψη αὐτῶν τῶν αλληλεπιδράσεων δέν ἦταν καρπός τοῦ τυχαίου: ἦταν πάντα ἡ κατάληξη ἐργασιῶν σέ συγκεκριμένα προβλήματα. Μέ τή σειρά τους, οἱ ἀνακαλύψεις αὐτές δέν ἦταν ἕνα δευτερεύον γεγονός γιά τή φυσική. Ἀναστάτωναν κάθε φορά τίς ἀντιλήψεις μας γιά τή φυσική πραγματικότητα, καί εἰδικώτερα τή δομή καί τό χαρακτήρα τῆς φυσικῆς.

Ἡ φυσική μελετᾶ μιά ὀρισμένη κατηγορία φαινομένων. Εἶναι ὥστόσο ἐνδιαφέρον νά σημειώσουμε, ὅτι ὁ ἐννοιολογικός πυρήνας τῶν διαφόρων κλάδων της δέ διαμορφώθηκε μέ ἀφετηρία τίς ιδέες γιά τή δομή τῶν ὑλικῶν σωμάτων (μέ τή στενή ἔννοια). Ὁ χαρακτήρας τῆς φυσικῆς καθορίστηκε πάντα ἀπό τό χαρακτήρα (πραγματικό ἢ ὑποθετικό) τῶν φυσικῶν αλληλεπιδράσεων. Ἐτσι μέ ἄπειρη ταχύτητα αλληλεπιδράσεων πού ὑποτίθενται συνεχεῖς, καταλήγουμε ὑποχρεωτικά στή μηχανιστική (νευτώνεια) φυσική. Πεπερασμένη ταχύτητα καί μή κβαντισμένη αλληλεπίδραση, ὑπῆρξε τό ἀφετηριακό σημεῖο γιά τόν ἠλεκτρομαγνητισμό, τήν εἰδική θεωρία τῆς σχετικότητας καί τή θεωρία

της βαρύτητας του Einstein. "Άπειρη ταχύτητα και κβάντωση των αλληλεπιδράσεων, οδηγεί στη μη σχετικιστική κβαντική μηχανική. Πεπερασμένη ταχύτητα και κβάντωση οδηγεί, τέλος, στη σχετικιστική κβαντική μηχανική.

Ἡ εξέλιξη των ἰδεῶν γιὰ τὴν ἀλληλεπίδραση εἶναι λοιπὸν ὀργανικὰ δεμένη μὲ τὴν εξέλιξη τῆς φυσικῆς. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ δὲν εἶναι ἀνεξήγητο: Ἡ ἀλληλεπίδραση δὲν εἶναι παράγοντας ἐξωτερικὸς ὡς πρὸς τὴν ὕλη. Ἀποτελεῖ ἀντίθετα μιὰ ἀπὸ τὶς ἐκδηλώσεις τῆς οὐσίας τῶν σωμάτων, μὲ τὰ ὁποῖα ταυτίζεται ὄντολογικὰ: ἐκπέμπεται ἀπὸ τὴν ὕλη, εἶναι καὶ αὐτὴ μορφή ὕλης, καὶ τροποποιεῖ τὸ φυσικὸ σύστημα ἀπ' ὅπου προέρχεται. Ἡ «ἀπορρόφησή» τῆς τροποποιεῖ ἐπίσης τὸ «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 εξέλιξη τῶν φυσικῶν θεωριῶν σὲ σχέση μὲ τὶς ἀνακαλύψεις τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων, γιὰ νὰ ἐπιστρέψουμε τελικὰ στὸ ἀφετηριακὸ μας σημεῖο: στὴν κατηγορία τῆς ἀλληλεπίδρασης, πού ἀναδύεται τώρα μέσα ἀπὸ τὸ εἰδικὸ καὶ τὸ συγκεκριμένο.

2.3. Ἡ ἀλληλεπίδραση μὲ ἄπειρη ταχύτητα καὶ τὸ μηχανιστικὸ σύμπαν.

Ἡ ἔννοια τῆς στιγμιαίας δύναμης, δηλαδή τῆς φυσικῆς ἀλληλεπίδρασης μὲ ἄπειρη ταχύτητα, εἰσάχθηκε στὴ φυσικὴ ἀπὸ τὸ Νεύτωνα. Σκοπὸς του ἦταν νὰ δώσει μαθηματικὴ διατύπωση καὶ «ἐρμηνεία» στοὺς φυσικοὺς νόμους καὶ εἰδικὰ στοὺς νόμους τῆς οὐράνιας μηχανικῆς. Ὁ Νεύτων διατύπωσε τὶς ἰδέες του σὲ δύο μνημειώδη ἔργα: τὰ Principia καὶ τὴν Ὀπτική.

Γιὰ τὴν εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας δράσης ἦταν ἀπαραίτητες ὀρισμένες φιλοσοφικὲς προϋποθέσεις. Ἡ εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας δράσης εἶχε μὲ τὴ σειρά τῆς σά συνέπεια τὴ διαμόρφωση μιᾶς φυσικῆς μὲ καθωρισμένο - μηχανιστικὸ - χαρακτήρα, καὶ τὴν πιὸ συγκεκριμένη ἐπεξεργασία τῆς μηχανιστικῆς ἀντίληψης γιὰ τὴ φύση.

Ὁ Νεύτων δέχεται τὴν ὕπαρξη ἑνὸς ἄπειρου χώρου, Sensorium Dei καὶ ἀπεριόριστης σκηνῆς τῶν φαινομένων. Ὁ χῶρος 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 ἰκανὴ νὰ διαιρέσει αὐτὸ πού ὁ θεὸς ἔκαμε ἕν, κατὰ τὴν πρώτη στιγμὴ τῆς δημιουργίας»¹. Τὰ σώματα κινοῦνται στὸ χῶρο πού εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὴν παρουσία τους, ὁμογενῆς καὶ

1. Opticks, Ed. Dover, σελ. 400.

ισότροπος² και στο χρόνο, που είναι ο ίδιος για όλα τα σημεία του σύμπαντος.

Τά υλικά σώματα υπακούουν στην αρχή της αδράνειας: η κινητική τους κατάσταση διατηρείται, εφ' όσον δεν τροποποιείται από τη δράση κάποιας εξωτερικής δύναμης. Η δύναμη λοιπόν θεωρείται αίτια της αλλαγής της καταστάσεως των υλικών συστημάτων και μετράται από την επιτάχυνση που προκαλεί σε όρισμένη μάζα.

Η εισαγωγή της στιγμιαίας δράσης - και ειδικά της δύναμης της βαρύτητας - προκάλεσε την αντίδραση των μεγαλύτερων στοχαστών της εποχής. Ο Leibniz π.χ., θεωρούσε τη βαρυτική έλξη σαν «απόκρυφη ιδιότητα» και ο Huygens ήταν πολέμιος της έννοιας. Η στιγμιαία δράση ήταν εξ άλλου αντίθετη με την καρτεσιανή αντίληψη για την ύλη και την κίνηση, όπου η ανυπαρξία του κενού συνεπάγεται την αδυναμία μιας στιγμιαίας αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε δύο διαφορετικά σώματα.

Ο Νεύτων υπερασπίσθηκε την υπόθεσή του: «Δέ θεωρώ τις αρχές αυτές απόκρυφες ιδιότητες». Επέμεινε στον πειραματικό χαρακτήρα των φυσικών νόμων και χαρακτήρισε τη βαρύτητα «φαινόμενο, όχι ιδιότητα της ύλης». Επίσης υπογράμμισε επανειλημμένα τον εμπειρικό χαρακτήρα της φιλοσοφίας του: «Δέν κάνω υποθέσεις». Εν τούτοις έκανε υποθέσεις και μάλιστα μεταφυσικές, που βρίσκονται στην αφετηρία και στο τέρμα του συστήματός του για τον κόσμο.

Προτού προχωρήσουμε, πρέπει να σημειώσουμε ότι η δύναμη δέν είναι παρά η μυστικοποιημένη έκφραση της αλληλεπίδρασης, και ότι μάλιστα προϋποθέτει την αμοιβαία δράση. Ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα (δράση= αντίδραση), φανερώνει ότι ο δεύτερος νόμος (δύναμη= μάζα Χ επιτάχυνση) είναι στην πραγματικότητα νόμος αμοιβαίας δράσης. Σ' ένα απομονωμένο σύστημα, τό διανυσματικό άθροισμα του συνόλου των δυνάμεων είναι ίσο με μηδέν. Άρα η δράση είναι ίση με την αντίδραση.³ Η συνθήκη αυτή είναι αναγκαία για την ύπαρξη ενός αδρανειακού συστήματος. Αν, αντίθετα, παραβιάζεται ο τρίτος νόμος, τότε τό σύστημα δέν είναι αδρανειακό. Η πρώτη αυτή παρατήρηση θέλει να υπογραμμίσει τό χαρακτήρα των νευτώνειων δυνάμεων: τό ότι είναι παράγοντες αμοιβαίας δράσης.

2. Ο χώρος της κλασικής φυσικής είναι ένας ευκλείδειος χώρος με θετική μετρική. Τό άπειροστό διάστημα έχει μέτρο: $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$.

3. Για ένα μεμονωμένο σύστημα: $\sum_a \frac{\partial L}{\partial \vec{r}_a} = 0$. Αλλά $-\frac{\partial L}{\partial \vec{r}_a} = \frac{\partial U}{\partial \vec{r}_a} = \vec{F}_a$. Άρα: $\sum_a \vec{F}_a = 0$ [L: ή συνάρτηση Lagrange του συστήματος. Για ένα σώματιο σε ένα πεδίο U, π.χ. έχουμε: $L = \frac{mv^2}{2} - U(\vec{r})$].

Ἡ εἰσαγωγή τῆς στιγμιαίας ἀλληλεπίδρασης εἶχε ἀνάγκη - καθὼς σημειώσαμε - ἀπὸ ὀρισμένες φιλοσοφικές προϋποθέσεις. Θὰ ὀδηγοῦσε μὲ τὴ σειρά τῆς σὲ μιά συνολική ἀντίληψη, ὄχι μόνο τῆς μηχανικῆς, ἀλλὰ τοῦ κόσμου γενικώτερα.

Οἱ νόμοι τῆς μηχανικῆς ὀφείλουν νὰ διατηροῦν τὴ μορφή τους, ὅταν περνᾶμε ἀπὸ ἓνα σύστημα ἀδρανείας σὲ ἄλλο. Αὐτὴ ἡ ἀμετάβλητοτητα, τὸ ἀναλλοίωτο τῆς μορφῆς, εἶναι ἔκφραση τοῦ ἐνδογενοῦς χαρακτήρα, ἄρα τῆς ἀντικειμενικότητας τῶν νόμων τῆς. Περνᾶμε ἀπὸ ἓνα σύστημα ἀδρανείας σὲ ἄλλο μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς ὀμάδας μετασχηματισμῶν: τῶν μετασχηματισμῶν τοῦ Γαλιλαίου⁴. Ἡ ὀμάδα αὐτὴ δέχεται τὴν ὕπαρξη ἑνὸς παγκόσμιου χρόνου, κοινοῦ γιὰ ὅλα τὰ συστήματα ἀναφορᾶς. Ἀλλὰ ἡ ὕπαρξη τοῦ παγκόσμιου χρόνου προϋποθέτει (ἔμμεσα ἢ ἄμεσα) τὴν ὕπαρξη ἀλληλεπιδράσεων μὲ ἄπειρη ταχύτητα. Ἐτσι ἡ στιγμιαία ἀλληλεπίδραση εἶναι ἀναγκαία συνθήκη γιὰ τὴ μαθηματικὴ διατύπωση τῶν θεωρητικῶν βάσεων τῆς κλασσικῆς μηχανικῆς⁵. Οἱ μετασχηματισμοὶ τοῦ Γαλιλαίου προϋποθέτουν τὴν ὕπαρξη συστημάτων ἀναφορᾶς γιὰ τὰ ὁποῖα ἰσχύουν οἱ νόμοι τῆς μηχανικῆς. Τὰ συστήματα αὐτὰ καλοῦνται συστήματα ἀδρανείας (ἢ συστήματα Γαλιλαίου). Σὲ τέτοια συστήματα, ἓνα ἐλεύθερο σωματίο κινεῖται εὐθύγραμμα καὶ ὀμαλά.

Ἐπὶ τὴν ἀπόδειξιν τῆς ἀναγκαστικότητος τῆς ἀναφορᾶς, ἔστω καὶ ἓνα, τότε ὑπάρχει μιά ἄπειρία: κάθε σύστημα ἀναφορᾶς τὲ ὀμοιόμορφη μετατόπιση σὲ σχέση μὲ τὸ πρῶτο, θὰ εἶναι ἐπίσης σύστημα ἀδρανείας. Ἡ ἰσοδυναμία τῶν ἀδρανειακῶν συστημάτων σὲ ὅ,τι ἀφορᾶ τοὺς νόμους τῆς μηχανικῆς, εἶναι τέλεια.

Ἐπίσης, ὀρίσαμε μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο μιά *προνομιοῦχα τάξη* συστημάτων. Γιὰ ὅλα αὐτὰ συστήματα ὁ χῶρος εἶναι ὀμογενῆς καὶ ἰσότροπος, ὁ χρόνος εἶναι ἰσότροπος, τὸ μῆκος εἶναι ἀπόλυτο μέγεθος, ὅπως καὶ ἡ χρονικὴ

4. Ὁ Γαλιλαῖος δὲν ἔγραψε φυσικά αὐτοῦς τοὺς μετασχηματισμοὺς, πού διατυπώθηκαν τὸ 19ο αἶώνα. Ὡστόσο ὅλες οἱ προϋποθέσεις γιὰ τὴ διατύπωση τους ἐνυπάρχουν στὴν ἐννοια τοῦ συστήματος ἀδρανείας καὶ τῆς στιγμιαίας δράσης ἀπὸ ἀπόσταση. Οἱ βασικὲς ἐννοιες καὶ ἡ μαθηματικὴ δομὴ μιᾶς θεωρίας δὲν ἀναπτύσσονται ὕποχρεωτικά μὲ τὸν ἀξιωματικὸν τρόπο, μὲ τὸν ὁποῖο παρουσιάζεται ἡ *posteriori* ἢ θεωρία. Ἀνάμεσά τους ἔλλωστε μποροῦν νὰ ὑπάρξουν ἀντιθέσεις, πού θὰ ἀνατινάξουν ἐν καιρῷ τὸ θεωρητικὸ οἰκοδόμημα. Αὐτὸ συνέβη π.χ. μὲ τὴν κλασσικὴ μηχανικὴ (ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων ἄπειρη) καὶ τὸν ἠλεκτρομαγνητισμὸ (πεπερασμένη ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων). Ἀπὸ τὴ σύγκρουση γεννήθηκε ἡ θεωρία τῆς σχετικότητος.

5. Οἱ μετασχηματισμοὶ τοῦ Γαλιλαίου γιὰ δύο συστήματα σὲ ὀμοιόμορφη μετατόπιση ὡς πρὸς τὸν ἄξονα ox ἔχουν τὴ μορφή: $x' = x + vt$, $y' = y$, $z' = z$, $t' = t$. Ἡ μορφή αὐτὴ ἐκφράζει τὴν ὕπαρξη ἑνὸς παγκόσμιου χρόνου ($t' = t$) καὶ τὴν ἀνεξαρτησία τοῦ χρόνου ἀπὸ τὴν ὕλη καὶ τὴν κίνησίν της.

διάρκεια και ή χρονική σύμπτωση. "Όλες αυτές οί ιδιότητες του χώρου και του χρόνου προϋποθέτουν τή στιγμιαία δράση. "Αν οί άλληλεπιδράσεις μεταδίδονταν μέ πεπερασμένη ταχύτητα, οί νόμοι τής μηχανικής θάταν διαφορετικοί για τά διάφορα συστήματα αδρανείας. "Έτσι ή άρχή τής σχετικότητας και όλόκληρη ή κλασική μηχανική, θάπρεπε νά τεθεί σέ άμφισβήτηση. (Αυτή ή έσωτερική άντινομία, πού έγινε έκδηλη μέ τά φαινόμενα του ήλεκτρομαγνητισμού, θά ώδηγοϋσε στη θεωρία τής σχετικότητας).

Άλλά ύπάρχει στη φύση ένα τέτοιο αδρανειακό σύστημα; Ο Νεύτων είχε συνείδηση τής βαρύτητας του έρωτήματος, και τών πρακτικών δυσκολιών για τήν ανακάλυψη ενός τέτοιου συστήματος, καθώς διαπιστώνεται από τις σχετικές σκέψεις του στα Principia. "Έτσι ώδηγήθηκε νά εισαγάγει τις έννοιες του άπόλυτου χώρου και του άπόλυτου χρόνου, ώστε νά δημιουργήσει μιά βάση για τή Μηχανική. Καθώς γράφει, «ο άπόλυτος χῶρος, άσχετος μέ τά έξωτερικά πράγματα, παραμένει πάντα ὁμοιος μέ τόν έαυτό του και άκίνητος». Τό ίδιο και «ο άπόλυτος χρόνος, ο άληθινός και χαρακτηριστικός, χωρίς σχέση μέ οτιδήποτε έξωτερικό», ο ὁποῖος «ρέει ὁμοιόμορφα και καλεῖται διάρκεια»⁶. Ο Νεύτων ὄρισε επίσης τήν άπόλυτη κίνηση: «Η άπόλυτη κίνηση είναι ή μετατόπιση τών σωμάτων από μιά άπόλυτη θέση σέ μιά άλλη άπόλυτη θέση». Επίσης, «ή άληθινή ήρεμία του σώματος είναι ή παραμονή στό τμήμα του άκίνητου χώρου».⁷

Ο άπόλυτος χῶρος, σκηνή άπεριόριστη τών φαινομένων, ταυτίζεται μέ τό μεταφυσικό κενό, πού μπορεί νά δεχθεῖ τήν ύλη. "Υλη και χῶρος δέν συνδέονται ὀργανικά. Ξαναβρίσκουμε έδῶ τήν αντίληψη τών αρχαίων ατομικών (τούς ὁποίους επικαλεῖται άλλωστε ο Νεύτωνας) πού δέχονται τήν άσυνεχή, σωματιδιακή ύφή τής ύλης, και τό κενό - άρνηση του είναι. Η αντίληψη αυτή είναι αντίθετη μέ τήν αντίληψη του Αριστοτέλη και του Καρτέσιου, ή ὁποία, μέσα από τό έργο του Faraday και του Maxwell, θά ώδηγοϋσε στην ένότητα τής ύλης, του χώρου, του χρόνου και τής κίνησης, στα πλαίσια τής θεωρίας τής σχετικότητας.

Άπόλυτος χῶρος και χρόνος, άπόλυτος συγχρονισμός, χρονική διαδοχή άπόλυτου χαρακτήρα: ὅλες αυτές οί έννοιες προϋποθέτουν τή στιγμιαία δράση από άπόσταση. "Έτσι οί αίτίες διαδίδονται στιγμιαία και τά φαινόμενα καθορίζονται ὄχι μόνο άπόλυτα, αλλά και χωρίς χρονική ύστέρηση.

Ο Νεύτων διατύπωσε μιά μορφή νόμου, ὅπου ο χρόνος παίζει - έξ

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

7. Ο. π., σελ. 9 και 11.

αίτιας τῆς παγκοσμιότητάς του - τό ρόλο μή οὐσιαστικῆς καί ἀπαλείψιμης παραμέτρου. Ὁ νόμος τῆς βαρύτητας καί ὁ νόμος τοῦ Coulomb στήν ἠλεκτροστατική ἀνήκουν σ' αὐτή τήν κατηγορία νόμων, πού προϋποθέτουν τή στιγμιαία δράση ἀπό ἀπόσταση.

Σήμερα εἶναι φανερό ὅτι ἡ στιγμιαία δράση ἀποτελεῖ τήν ἀναγκαία προϋπόθεση γιά τή διαμόρφωση ὁλόκληρου τοῦ οἰκοδομήματος τῆς προ-ρελατιβιστικῆς φυσικῆς. Μποροῦμε συνεπῶς νά ποῦμε ὅτι ἡ ἀλληλεπίδραση μέ ἄπειρη ταχύτητα ἀποτελεῖ τόν ἐννοιολογικό πυρῆνα τῆς κλασσικῆς φυσικῆς. Ἐτσι ἡ ἐπιστήμη αὐτή στηρίχθηκε σέ μιά πλασματική ὑπόθεση. Ἡ ἐπιτυχία της ὀφείλεται στό γεγονός ὅτι οἱ ταχύτητες τῶν συνηθισμένων φαινομένων πού ἀνήκουν στήν περιοχή της, εἶναι μηδαμινές μπροστά στήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ἡ μελέτη τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν φαινομένων (ταχύτητα ἀλληλεπιδράσεων ἴση μέ 3×10^{10} cm/sec) θά ὠδηγοῦσε κατ' εὐθείαν στή σχετικότητα.

Μποροῦμε λοιπόν νά ὀρίσουμε τήν ἔννοια τῆς στιγμιαίας δράσης σάν τόν ἐννοιολογικό πυρῆνα τῆς προ-ρελατιβιστικῆς φυσικῆς. Αὐτό δέ σημαίνει πῶς οἱ ἔννοιες καί ὁ φορμαλισμός αὐτῆς τῆς ἐπιστήμης διαμορφώθηκαν μέ τρόπο ἀπαγωγικό, ἀπό ὄρισμένα ἀξιώματα. Ἀληθινό εἶναι ἀκριβῶς τό ἀντίστροφο. Ἀνάμεσα στίς διαισθήσεις τοῦ Καρτέσιου, τό ἔργο τοῦ Γαλιλαίου καί τοῦ Νεύτωνα ἀπό τή μιά, καί τή διατύπωση τῆς κλασσικῆς μηχανικῆς τοῦ Lagrange καί τοῦ Hamilton ἀπό τήν ἄλλη, ὑπάρχει βαθύτατη διαφορά καί θά μπορούσαμε νά μιλήσουμε γιά μιά, ἢ καί γιά περισσότερες ἐπιστημικές μεταλλαγές, πού ὠδήγησαν στό σημερινό φορμαλισμό. Ἀντίθετα μέ τή σχετικότητα, οἱ ἐπιστημολογικές προϋποθέσεις τῆς κλασσικῆς μηχανικῆς ἀποσαφηνίσθηκαν μέσα ἀπό μιά μακρά ἐξελικτική διαδικασία.

Ὁ Νεύτων καί οἱ μεταγενέστεροι φυσικοὶ διαμόρφωσαν μιά συνολική ἀντίληψη γιά τό σύμπαν: ἀπόλυτος χῶρος καί χρόνος, ἀνεξάρτητοι ἀπό τήν ὕλη καί τήν κίνησή της, αἰώνια ἄτομα χωρίς δομή καί χωρίς πραγματικές ιδιότητες, δυνάμεις ἐξωτερικές σέ σχέση μέ τήν ὕλη, ἀδρανῆ ἀπό τή φύση της, κίνηση νοούμενη σά μετατόπιση, κατάσταση ἡ ὁποία διατηρεῖται καί συνιστᾷ τήν ἄρνηση τοῦ γίνεσθαι. Σ' αὐτό τό σύμπαν ἡ ἀλλαγή ἔχει πάντα ποσοτικό χαρακτήρα καί ἡ ἐξέλιξη καί ἡ ποιοτική ἀλλαγή εἶναι ἀδύνατες, σέ τελευταία ἀνάλυση⁸.

8. Θά πρέπει νά σημειωθεῖ ὅτι ὁ Νεύτων δέν χώρισε ἐντελῶς τήν ὕλη καί τήν κίνηση. Ἐκτός ἀπό τή *vis inertiae*, πού, εἶναι μιά παθητική ἀρχή, ἀναζητήσε καί ἄλλες ἐνεργητικές ἀρχές, γιά νά ἐξηγήσει τήν κίνηση. Τέτοιες θά ἦταν π.χ. ἡ βαρύτητα, τά αἷτια πού προκαλοῦν τή ζύμωση, τή συνεκτικότητα τῶν σωμάτων, καί οἱ ἀρχές αὐτές θά ἔπρεπε νά θεωροῦνται, «ὄχι ὡς ἀπόκρυφες ιδιότητες, πού ὑποτίθεται ὅτι προκύπτουν ἀπό εἰδικές μορφές τῶν πραγμάτων, ἀλλά σά γενικοὶ νόμοι τῆς φύσης» (Opticks, Ed. Dover, σελ. 317 καί 401). Ἡ ἔννοια ἄλλωστε τῆς ἀλληλεπίδρασης, ἡ

“Ένας μηχανιστικός «ντετερνισμός» δεσπόζει σ’ αυτό τό σύμπαν, απ’ όπου αποκλείονται ή πρωτοβουλία, ή δημιουργικότητα και ή έλευθερία. Ο λαπλασιανός φαταλισμός και ή θελογία του Νεύτωνα θάταν οί διαμετρικά αντίθετες, αλλά από μιά άποψη ισοδύναμες καταλήξεις αυτής της κοσμοαντίληψης, ή όποία περιέχει σάν άφειηριακό σημείο και σάν πυρήνα, τήν άλληλεπίδραση μέ άπειρη ταχύτητα.

Οί έσωτερικές αντιθέσεις της μηχανιστικής φύσικης είχαν φθάσει στό άποκορύφωμά τους πρόσ τά τέλη του περασμένου αιώνα. Αλλά ή νέα φυσική και ή νέα κοσμοαντίληψη δέν θά γεννιόνταν από τή μελέτη κάποιου ύλικού συστήματος (μέ τή στενή έννοια του όρου). Στο σύμπαν της σχετικότητας ώδήγησε ή μελέτη μιās άλλης άλληλεπίδρασης: της ήλεκτρομαγνητικής.

2.4. Η άλληλεπίδραση μέ πεπερασμένη ταχύτητα και τό σύμπαν της σχετικότητας.

Η παλαιά διαμάχη για τό κενό και τό πλήρες αναζωογονήθηκε μέ τό έργο των Faraday και Maxwell. Ο ήλεκτρομαγνητισμός θά ώδηγοΰσε σε μιά νέα αντίληψη της πραγματικότητας, μέσα από τή μελέτη έξαιρετικά λεπτών φαινομένων. Ο Faraday, καθώς γράφει ό ίδιος, ένιωθε μεγάλη δυσκολία νά φαντασθει τά άτομα χωρισμένα μεταξύ τους και νά «κολυμπούν» στό κενό. Δέν δεχόταν τά σκληρά άτομα και θεωροΰσε τήν ύλη σάν ένα άπέραντο συνεχές. Η γραμμή Αριστοτέλη - Καρτέσιου, έβρισκε στό πρόσωπό του έναν έξοχο εκπρόσωπο.

Οί εξισώσεις του Maxwell απέκάλυψαν τήν ύπαρξη μιās άλλης πραγματικότητας, άσυμβίβαστης μέ τή σωματιδιακή αντίληψη της φύσης: του ήλεκτρομαγνητικού πεδίου, φορέα της ήλεκτρομαγνητικής άλληλεπίδρασης. Τό πεδίο δέν είναι τώρα πιά άπλή παράσταση. Είναι μιά πραγματικότητα ανεξάρτητη από τήν πηγή της, είναι φορέας ένέργειας, όρμης, διαδίδεται μέ πεπερασμένη ταχύτητα στό χώρο, και άποκαθιστά σχέσεις αίτίας-άποτελέσματος μέ τρόπο έξελικτικό.

Ωστόσο είναι γνωστό ότι ό Maxwell, όπως και οί σύγχρονοί του, διαποτισμένοι από τίς μηχανιστικές αντιλήψεις, θεωροΰσαν τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο σά διαταραχή πού διαδίδεται μέ τή μεσολάβηση του αϊθέρα. Και καθώς ό αϊθέρας είχε συνδεθει μέ τόν άπόλυτο χώρο, φαντάσθηκαν ότι θά μπορούσαν νά άποδείξουν, μέ πειράματα σχετικά μέ τήν ταχύτητα του φωτός, τήν κίνηση της γής

όποία πηγάζει από τήν ύλη, ή έννοια της άμοιβαίας δράσης και μιά κάποια άναγνώριση της ποιότητας, ξεπερνούν τόν άκαμπτο μηχανισμό και συνιστούν μιά πρώτη έκδήλωση του διαλεκτικού πνεύματος στό χώρο της μηχανικής.

διαμέσου του αϊθέρα, άρα την *άπόλυτη κίνηση*. "Έτσι θά άποκαλυπτόταν ή ύπαρξη του προνομιούχου συστήματος και ή μηχανική θά άποκτούσε επί τέλους σταθερή βάση. Είναι γνωστό πώς όλα τά σχετικά πειράματα άπέτυχαν: ή ταχύτητα του φωτός δέν έξαρτάται άπό τή σχετική κίνηση πηγής - παρατηρητή.

Έν τω μεταξύ ό Einstein είχε έντυπωσιασθει άπό τήν άσυμμετρία πού παρουσίαζαν τά ήλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στό κλασικό πλαίσιο. (Έταν γνωστό ότι οι έξισώσεις του Maxwell δέν ήταν άναλλοίωτες, σέ σχέση μέ τούς μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου). Άλλά τέτοιου είδους άσυμμετρίες δέν μπορούσαν, κατά τόν Einstein, νά είναι σύμφυτες μέ τά φαινόμενα. Έγκατάλειψε λοιπόν τίς κλασικές άπόπειρες έρμηνείας και άπόδειξε πώς οι έξισώσεις του Maxwell ήταν έμετάβλητες σέ σχέση μέ μιá άλλη ομάδα μετασχηματισμών: τήν ομάδα Lorentz.

Ό Einstein έθεσε δυό αξιώματα σάν άφετηριακό σημείο τής είδικής σχετικότητας:

1) Έπεξέτεινε τήν άρχή τής σχετικότητας στό ήλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. 2) Θεώρησε ότι τό φώς διαδίδεται πάντα στό κενό μέ τήν ίδια ταχύτητα (3×10^{10} cm/sec), άνεξάρτητα άπό τήν κίνηση τής φωτεινής πηγής. Τά δυό αυτά αξιώματα, άσύμβατα άπό κλασική άποψη, έναρμονίζονται άπό τήν άποψη τών μετασχηματισμών του Lorentz (οί μετασχηματισμοί αυτοί είναι στήν πραγματικότητα μιá μαθηματική μεταγραφή αυτών τών αξιωμάτων) και συμφωνούν μέ τό πείραμα⁹.

Έτσι ή πειραματική και θεωρητική μελέτη τής ήλεκτρομαγνητικής άλληλεπίδρασης, ώδήγησε στό ξεπέραςμα τής κλασικής φυσικής και στή διατύπωση τής θεωρίας τής Σχετικότητας. Ό αϊθέρας και ό άπόλυτος χώρος δέν έχουν θέση στό σχετικιστικό σύμπαν. Και καθώς φανερώνουν οι μετασχηματισμοί Lorentz, ή πεπερασμένη ταχύτητα τής ήλεκτρομαγνητικής άλληλεπίδρασης συνεπάγεται τή σχετικότητα του χώρου και του χρόνου: Τό μήκος δέν είναι τώρα πιά άμετάβλητο: έξαρτάται άπό τήν κίνησή του ως προς τό σύστημα άναφοράς. Επίσης δέν ύπάρχει ένας άπόλυτος, παγκόσμιος χρόνος, πού θά ίσχυε για όλα τά άδρανειακά συστήματα. Και ό χρόνος έξαρτάται άπό τήν ταχύτητα του «ρολογιού» ως προς τό σύστημα άναφοράς. Άλλά τότε ό άπόλυτος συγχρονισμός δέν έχει νόημα, ούτε άπό θεωρητική, ούτε άπό λειτουργική άποψη. Μάλιστα σέ ώρισμένες περιπτώσεις (άπουσία αίτιακής σχέσης), άκόμα και ή χρονική σχέση δυό γεγονότων μπορεί νά άντιστραφεί.

9. Βλ. The Principle of Relativity, Dover Publ., και τίς αυτοβιογραφικές σημειώσεις του Einstein στό: A. Einstein, Philosopher - Scientist, Evaston (Library of Living Philosophers) 1949.

Τότε, λοιπόν, σχετικότητα σημαίνει σχετικισμός (καί υποκειμενισμός); 'Αλλά, κατ' αρχήν, αναζητώντας τήν ἀμεταβλητότητα τῶν φυσικῶν νόμων ὡς πρὸς τὸ σύστημα ἀναφορᾶς, ὁ Einstein ἐξασφάλιζε τήν ἀντικειμενικότητα αὐτῶν τῶν νόμων. Καί ἐπὶ πλέον: τρία χρόνια ἀργότερα ὁ Minkowski δημιούργησε ἕνα νεοχωροχρονικό πλαίσιο, ὅπου νέα, σχετικιστικά ἀπόλυτα μεγέθη, θά πρόκυπταν σὰ σύνθεση σχετικῶν μεγεθῶν. Ἡ ἠλεκτρομαγνητική ἀλληλεπίδραση ἔπαιξε καί ἐδῶ βασικό ρόλο.

Ὁ χῶρος καί ὁ χρόνος συνιστοῦν κατὰ τὸν Minkowski μιά ἐνότητα, ἕνα εἶδος συνεχοῦς, ἕνα χῶρο (μέ τή γενική, μαθηματική ἐννοια) τοῦ ὁποῖου ὑποχῶροι εἶναι ὁ χῶρος καί ὁ χρόνος χωριστά. Τὸ πλαίσιο τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν φαινομένων εἶναι λοιπόν τετραδιάστατο. Ἐνα σημεῖο τοῦ σύμπαντος τοῦ Minkowski χαρακτηρίζεται ἀπὸ 4 ἀριθμούς (3 χωρικές καί 1 χρονική συντεταγμένη). Τὸ σύνολο τῶν σημείων τῆς τροχιάς ἑνὸς σωματίου, συνιστοῦν μιά κοσμική γραμμή.

Τὰ ἠλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται πάνω στὴν ἐπιφάνεια ἑνὸς κῶνου, τοῦ χαρακτηριστικοῦ κῶνου. Ἐτσι ὁ τόπος τῆς διάδοσης τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων χωρίζει τὸ σύμπαν σὲ τρεῖς περιοχές ἀπόλυτου χαρακτήρα: τὴν περιοχὴ τοῦ παρελθόντος, τοῦ μέλλοντος καί τὴν περιοχὴ τοῦ ἄλλου.

Στὸ σύμπαν αὐτὸ τὰ χωροχρονικά διαστήματα εἶναι ἀμετάβλητα σὲ σχέση μέ τούς μετασχηματισμούς τοῦ Lorentz¹⁰. Ἄν λοιπόν ὁ χῶρος καί ὁ χρόνος χωριστά εἶναι σχετικά μεγέθη, ἢ συνένωσή τους δημιουργεῖ ἕνα μέγεθος ἀμετάβλητο, ἄρα ἀπὸ μιά ἄποψη, ἀπόλυτο. Κατὰ ἀνάλογο τρόπο ἡ χρονολογικὴ σειρά εἶναι ἀπόλυτη, γιὰ γεγονότα πού συνδέονται μέ αἰτιακὴ σχέση. Ἡ κατεύθυνση τῆς ροῆς τοῦ χρόνου εἶναι μοναδική, ἀπὸ τὸ παρελθόν πρὸς τὸ μέλλον καί ἡ αἰτιακὴ σχέση ἔχει κι αὐτὴ ἀπόλυτο χαρακτήρα¹¹. Στὸ πλαίσιο αὐτὸ πραγματοποιήθηκαν καί ἄλλες συνθέσεις σχετικῶν φυσικῶν μεγεθῶν, πού ὀδηγοῦν σὲ νέα, ἀναλλοίωτα μεγέθη. Ἡ πιὸ σημαντικὴ εἶναι ἡ σύνθεση τῆς μάζας (μέ τὴν κλασικὴ ἐννοια) καί τῆς ἐνέργειας (μέ τὴν κλασικὴ ἐννοια), σ' ἕνα νέο μέγεθος πού ἐκφράζεται μέ τὸ τετραδιάνυσμα ὀρμῆς-ἐνέργειας¹².

Ὁ τανυστικὸς χαρακτήρας τῶν σχετικιστικῶν μεγεθῶν, ἐξασφαλίζει τὴν ἀμεταβλητότητά τους σὲ σχέση μέ τούς μετασχηματισμούς τοῦ

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, πού ἀποκαλύπτει τὴν ἐνότητα τοῦ χῶρου καί τοῦ χρόνου.

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

12. Τετραδιάνυσμα: διάνυσμα σὲ χῶρο τεσσάρων διαστάσεων.

Loorentz, ἄρα τὴν ἀνεξαρτησία 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 μιά νέα ἀντίληψη τῶν σχέσεων χώρου, χρόνου καὶ κίνησης. "Ὅλα τὰ κλασικά μεγέθη μεταμορφώθηκαν ριζικά στὸ νεὸ ἐννοιολογικὸ πλαίσιο.

Μέσα στὰ πλαίσια τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας, οἱ νόμοι τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ διατηροῦν ἀναλλοίωτη τὴ μορφή τους μόνο σὲ σχέση μὲ μιά προνομιοῦχα τάξη συστημάτων ἀναφορᾶς: τὰ συστήματα ἀδρανείας. Ἐπί πλέον, ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση θεωρεῖται «ἐξωτερικὴ» σὲ σχέση μὲ τὸ χωρὸ τοῦ Minkowski: ἡ μορφή (ἢ ἡ μετρικὴ) τοῦ χώρου δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν παρουσία τῆς «ὕλης» ἢ τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου¹³.

Ἐπί πλέον, ὁ Einstein θέλησε νὰ γενικεύσει τὴν ἀρχὴ τῆς-συμμεταβλητότητας (covariance) γιὰ ὅλα τὰ συστήματα ἀναφορᾶς, ἀδρανειακά ἢ μὴ. Οἱ νόμοι τῆς φύσης, ἔγραφε τὸ 1916, πρέπει νὰ ἐκφράζονται μὲ ἐξισώσεις πού θὰ ἰσχύουν γιὰ ὁποιοδήποτε σύστημα ἀναφορᾶς, πού θὰ διατηροῦν δηλαδὴ τὴν ἴδια μορφή (θὰναι covariantes) σὲ σχέση μὲ ὁποιαδήποτε ἀλλαγὴ τοῦ συστήματος ἀναφορᾶς¹⁴. Ἀπὸ τὴ μέριμνα τοῦ Einstein νὰ ἐπιτύχει τὴ γενικὴ ἀμεταβλητότητα τῶν φυσικῶν νόμων, γεννήθηκε ἡ γενικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας.

Ἀλλὰ ποιό εἶναι τὸ συγκεκριμένο περιεχόμενο τῆς γενικῆς θεωρίας; Ὁ νευτώνειος νόμος τῆς βαρύτητας εἶναι τοῦ τύπου: στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση. Ὁ νόμος αὐτός εἶναι λοιπὸν ἀμετάβλητος ὡς πρὸς τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Γαλιλαίου, ὄχι ὅμως ὡς πρὸς τοὺς μετασχηματισμοὺς τοῦ Lorentz. Ὁ νόμος παρουσίαζε ἐπίσης μιά σειρά ἀσυμφωνίες μὲ τὸ πείραμα (κίνηση τῶν μεγάλων πλανητῶν, κίνηση τῆς σελήνης, τοῦ πλανήτη τοῦ Encke, κλπ.). Ὅλες οἱ προσπάθειες νὰ ἀπαλειφθοῦν αὐτές οἱ ἀσυμφωνίες μὲ τροποποίηση τοῦ νόμου μέσα στὰ κλασικά πλαίσια, ἀπέτυχαν. Ὁ Einstein, ἀπορρίπτοντας γιὰ ἄλλη μιά φορά τὸ κλασικὸ πλαίσιο, μπόρεσε νὰ διατυπώσει ἓνα νόμο πού ἦταν σύμφωνος μὲ τὰ πειραματικὰ δεδομένα, καὶ πού ταυτόχρονα ἦταν ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς.

Ὁ νόμος αὐτός σημείωσε μιά νέα ἐπανάσταση στὴ φυσικὴ. Ἡ ἐπανάσταση αὐτὴ συνδέθηκε, γιὰ μιά ἀκόμα φορά, μὲ μιά φυσικὴ ἀλληλεπίδραση: τὴ βαρυτικὴ.

13. Ἡ μετρικὴ αὐτὴ εἶναι: $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} = (1, -1, -1, -1)$. Ἡ ψευδοευκλείδεια αὐτὴ μετρικὴ εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν παρουσία τῆς ὕλης μὲ τὴ στενὴ ἐννοια, ἢ τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου.

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

Ο νέος νόμος της βαρύτητας δέν είναι μόνον ανεξάρτητος από τό σύστημα αναφοράς, αδρανειακό ή μή. Ταυτόχρονα καταργεί τό τελευταίο κατάλοιπο της μηχανιστικής φυσικής - τή δύναμη της βαρύτητας - απορροφώντας την σέ μιά γεωμετρική δομή μεταβλητής μορφής. Αντίθετα μέ τό χῶρο τοῦ Minkowski, ὁ χῶρος της γενικής θεωρίας της σχετικότητας είναι ἕνα εἶδος τετραδιάστατου συνεχοῦς, μέ μετρική, ἄρα καί καμπυλότητα, ἡ ὁποία είναι συνάρτηση της κατανομής τῶν μαζῶν. Ὡς συγκεκριμένα, ἡ μετρική αὐτή ἐξαρτᾶται ἀπό τήν κατανομή τῶν δυναμικῶν της βαρύτητας, πού μέ τή σειρά τους καθορίζονται ἀπό τήν κατανομή της ὕλης. Ἐτσι ἡ ἀλληλεπίδραση δέν είναι ἐξωτερική ὡς πρὸς τό χῶρο, ὅπως οἱ κλασικές δυνάμεις, ἢ ὅπως ἡ ἠλεκτρομαγνητική ἀλληλεπίδραση στό χῶρο - της εἰδικῆς θεωρίας της σχετικότητας.

Ἡ γενική θεωρία της σχετικότητας, σά φυσική θεωρία πού τό συγκεκριμένο της περιεχόμενο είναι ἡ βαρυτική ἀλληλεπίδραση, οὐσιαστικοποίησε τήν ἐνότητα τοῦ χῶρου, τοῦ χρόνου, της ὕλης καί της κίνησης, στά πλαίσια ἐνός τετραδιάστατου συνεχοῦς, τοῦ ὁποίου ἡ μετρική, καί συνεπῶς ἡ μορφή, καθορίζεται ἀπό τήν ἔνταση τοῦ δυναμικοῦ της βαρυτητας, ἄρα ἀπό τήν κατανομή της 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 της βαρύτητας. 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 είναι παρά ἡ ἄλλη ὄψη μιᾶς γενικῆς συμμεταβλητότητας, δηλαδή ἀμεταβλητότητας της μορφής καθῶς καί τῶν ἀντίστοιχων φυσικῶν μεγεθῶν, ἄρα ἀντικειμενικότητας, ἡ ὁποία ἐπιτεύχθηκε μέ τή μελέτη της βαρυτικῆς ἀλληλεπίδρασης.

2.5. Ἡ κβάντωση τῶν ἀλληλεπιδράσεων.

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