

ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ*

Μετά από τις τέσσερις ωραίες διαλέξεις που σκιαγράφησαν τις φάσεις ανάπτυξης της θεωρίας της Σχετικότητας, δεν θα ήταν ίσως άσκοπο να επιμείνουμε σε όρισμένα επιμέρους σημεία που ενδιαφέρουν από την άποψη της Σύνθεσης, και να υπογραμμίσουμε τη σπουδαιότητα της ρελατιβιστικής θεωρίας, όχι μόνο για την ίδια τη φυσική, αλλά και για τη φιλοσοφία, για τη σύνδεση με τις άλλες πνευματικές δραστηριότητες και, τελικά, για τη θεωρία της γνώσης, δηλαδή για το στοχασμό του πνεύματος πάνω στην ίδια τη δραστηριότητά του.

Αντίθετα με ό,τι μπόρεσε να γίνει πιστευτό, η θεωρία της σχετικότητας δεν είχε το χαρακτήρα αυτόματης γένεσης. Η διατύπωσή της αντιπροσωπεύει μια στιγμή στην εξέλιξη της φυσικής και επιβλήθηκε, κατά κάποιον τρόπο, σαν η λύση μιας μακράς διαμάχης ανάμεσα στην αντίληψη για τη στιγμιαία δράση από απόσταση -- που συνδέεται με την έννοια του απόλυτου χρόνου -- και την αντίληψη για τη δράση που μεταδίδεται από σημείο σε σημείο και η οποία τελικά θριάμβευσε.

Έτσι η θεωρία αυτή στηρίζεται σε όλόκληρη την ιστορία της φυσικής. Από άλλη άποψη, αποτελεί οργανικό τμήμα αυτής της ιστορίας, σαν σύνδεσμος ανάμεσα στο παρελθόν και στο μέλλον, και σαν όργανο εργασίας απαραίτητο στους φυσικούς, όπως σ'αυτὸ ανέπτυξε ο κ. Louis de Broglie.

Η θεωρία της σχετικότητας είναι ένας σύνδεσμος ανάμεσα στο παρελθόν και το μέλλον, γιατί διευκόλυνε την κατανόηση του συνόλου των γνωστών πειραματικών δεδομένων, και επέτρεψε να προβλεφθούν νέα φαινόμενα. Ίδιαίτερα, ήλθε να βάλει τάξη σε ό,τι γνωρίζαμε με μεγαλύτερη ακρίβεια. Από αυτή την άποψη ο κ. Bauer σ'αυτὸ ἔδειξε ὅτι στην ὀπτική ἐπιτεύχθηκε μὴ ἀκρίβεια τῆς τάξεως τῶν 10^{-11} , πράγμα που αντιπροσωπεύει μὴ συμφωνία πραγματικὰ ἐντυπωσιακὴ ἀνάμεσα στὴ θεωρία καὶ στὸ πείραμα. Τέλος, καὶ αὐτὸ ἀποτελεῖ τὸ πληρέστερο κριτήριον τῆς ἀποτελεσματικότητος μὴς θεωρίας, ἐπέτρεψε, καθὼς τὸ ἔδειξε ὁ κ. Darmonis, ὄχι μονάχα νὰ προηγηθοῦμε ἀπὸ τὸ πείραμα, προβλέποντας νέα φαινόμενα, ἀλλὰ καὶ νὰ διαμορφώσουμε νέες θεωρίες ὅπως ἡ κυματικὴ μηχανικὴ, πού ἡ ἐμφάνισή της θὰ ἦταν ἀδύνατη χωρὶς τὴ σχετικότητα.

*Τὸ κείμενον αὐτὸ ἀποτελεῖ τὸ «Γενικὸ Συμπέρασμα» τῆς δεύτερης ἑβδομάδας τοῦ Centre International de Synthèse, πού πραγματοποιήθηκε στὸ Παρίσι τὸ 1932, ὑπὸ τὴ διεύθυνση τοῦ Paul Langevin. Δημοσιεύθηκε τὸ 1932 στὸ Παρίσι (Hermann). Τούτη τὴ μετάφραση δημοσιεύουμε μετὰ τὴν ἄδεια τῶν κληρονόμων τοῦ συγγραφέα.

Ἡ ἐπιτυχία τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας, ὡς μέσου συνεκτικῆς παράστασης τοῦ κόσμου, ἀποτελεῖ κατὰ κάποιο τρόπο τὴν ἐμπράγματη δικαίωσή της. Τὸ φιλοσοφικὸ ἐνδιαφέρον της βρίσκεται στὴν καθαρότητα μὲ τὴν ὁποία φωτίζει τὶς θεμελιώδεις ἐννοιες καὶ ὁλόκληρο τὸν ἐξελικτικὸ μηχανισμό τῆς ἀνθρώπινης νόησης.

Ὁ κ. Bauer σᾶς ἔδειξε ὅτι ἡ ἀνάπτυξη τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας ἀναπτύχθηκε μὲ ἀφετηρία μιᾶ κριτικῆς ἀνάλυσης τῆς ἐννοίας τοῦ χρόνου. Ἡ ἀνάλυση αὐτὴ προκλήθηκε ἀπὸ τὴ σύγκρουση ἀνάμεσα στὴ νευτώνεια ἀντίληψη γιὰ τὴ στιγμιαία δράση ἀπὸ ἀπόσταση καὶ τὴν ἀντίληψη ποὺ ἀντιπροσωπεύεται ἀπὸ τὸν Faraday, γιὰ τὴ διάδοση τῶν δράσεων ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο.

Ἡ ἀντιπαράθεση αὐτῶν τῶν δύο ἀπόψεων θὰ μᾶς ἐπιτρέψει νὰ ἐξαγάγουμε τὶς οὐσιαστικὲς ἀντιλήψεις ποὺ ἔχουν συνέπειες γιὰ τὴν ἐννοια τοῦ χρόνου, δοθέντος ὅτι ὁ ἀπόλυτος χρόνος συνδέεται μὲ τὴ δυνατότητα στιγμιαίας δράσης καὶ ὁ σχετικὸς χρόνος μὲ τὴν ὑπαρξὴ τῆς δράσης ποὺ διαδίδεται μὲ πεπερασμένη ταχύτητα.

Ἡ ἰδέα τῆς αἰτιότητας μᾶς ἐπιβάλλεται ἀπὸ τὴ διαπίστωση κανονικῶν διασυνδέσεων ἀνάμεσα στὰ φαινόμενα, ἢ καλύτερα στὴν πορεία τῶν «γεγονότων». Ὅταν δύο γεγονότα πραγματοποιοῦνται τὴν ἴδια στιγμὴ, καὶ στὸ ἴδιο σημεῖο τοῦ χώρου, βρίσκονται σὲ ἀπόλυτη χωρο-χρονικὴ σύμπτωση. Ὅλοι οἱ παρατηρητὲς εἶναι σύμφωνοι γιὰ τὸ ταυτόχρονό τους, καί, ἂν τὸ ἓνα καθορίζει τὸ ἄλλο, καὶ γιὰ τὴν αἰτιακὴ τους σύνδεση. Γιὰ νὰ ἀποκαταστήσουμε μιὰν αἰτιακὴ σύνδεση ἀνάμεσα σὲ δύο γεγονότα ἀπομακρυσμένα στὸ χῶρο καὶ στὸ χρόνο, ὀφείλουμε νὰ καλύψουμε τὸ διάστημα ποὺ τὰ χωρίζει, μὲ μιὰν ἀλυσίδα γεγονότων μὲ ἀπόλυτη σύμπτωση. Ἡ ἀλυσίδα αὐτὴ μπορεῖ νὰ ἀποτελεσθεῖ, λ.χ., ἀπὸ μηχανικὲς δράσεις ποὺ διαδίδονται μέσα ἀπὸ ἓνα στερεό. Στὴν περίπτωσι ποὺ ἡ ἀλυσίδα συνίσταται ἀπὸ φῶς, μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι ἓνα φωτεινὸ βλῆμα φεύγει ἀπὸ τὴν πηγὴ σὲ σύμπτωση μὲ τὸ γεγονὸς-αἰτία, καὶ φτάνει σὲ ἀπόλυτη σύμπτωση μὲ τὸ γεγονὸς-ἀποτέλεσμα. Ἀντὶ γιὰ τὴ βαλιστικὴ αὐτὴ ἀντίληψη τοῦ φωτός, μποροῦμε νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν κυματικὴ ἀντίληψη: στὴν περίπτωσι αὐτὴ μιὰ διαταραχὴ διαδίδεται ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο μέσα στὸ μέσο, καὶ συνδέει τὰ δύο γεγονότα.

Ἡ νευτώνεια ἀντίληψη μεταφράζεται στὸν περίφημο νόμο τῆς βαρύτητας καὶ στοὺς νόμους ποὺ εἶναι κατ' ὁμοίωσή του (νόμοι τοῦ Coulomb, τοῦ Laplace, τοῦ Ampère). Τὸ γεγονὸς-αἰτία, ποὺ εἶναι ἡ παρουσία τοῦ ἑλκτικού σώματος σὲ ἓνα ὀρισμένο σημεῖο, παράγει στιγμιαῖα καὶ ἀπὸ ἀπόσταση τὸ γεγονὸς-ἀποτέλεσμα, ποὺ εἶναι ἡ μεταβολὴ τῆς κίνησης τοῦ ἑλκόμενου σώματος. Ἡ ἴδια ἢ μορφή αὐτῶν τῶν νόμων ἀπαλείφει τὸ χρόνο ἀπὸ τὴ διατύπωσή τους. Ἡ δυνατότητα γιὰ στιγμιαία δράση ἐπιτρέπει νὰ ὀριστεῖ τὸ ταυτόχρονο ἀπὸ ἀπόσταση, χωρὶς καμιά ἀσάφεια, καὶ οἱ δυνατὲς κινήσεις τῶν παρατηρητῶν δὲν ἐπεμβαίνουν καθόλου στὴ διαπίστωση τῆς αἰτιατικῆς

σχέσης. "Όταν παρατηρούμε δύο γεγονότα απομακρυσμένα στο χώρο και όχι σύγχρονα, ή χρονική τάξη διαδοχής τους έχει απόλυτο νόημα και μόνον εκείνο που είναι μεταγενέστερο από το άλλο μπορεί να θεωρηθεί ότι επηρεάστηκε από το πρώτο.

"Ας κάνουμε τώρα την υπόθεση ότι ή ταχύτητα διάδοσης είναι πεπερασμένη. "Ας υποθέσουμε ότι ή χρονική αντιστοιχία σε διάφορα σημεία αποκαθίσταται, για τους διάφορους παρατηρητές, με ανταλλαγή φωτεινών ή χερτζιανών κυμάτων. "Η τάξη διαδοχής δύο γεγονότων μπορεί τότε να αντιστραφεί, όταν περνάμε από ένα σύστημα αναφοράς σε άλλο. Είναι συνεπώς αδύνατο να μπορεί να υπάρχει μια αιτιακή σχέση ανάμεσα σ' αυτά τα γεγονότα. Μπορούμε εύκολα να αποδείξουμε ότι αυτό απαιτεί μια μετάδοση του αιτιακού δεσμού με ταχύτητα πεπερασμένη, ή το πολύ ίση με την ταχύτητα του φωτός. Δεν μπορεί συνεπώς να υπάρχει αιτιακή σύνδεση ανάμεσα σε δύο γεγονότα που πραγματοποιούνται σε διαφορετικά σημεία του χώρου, παρά μόνο αν το δεύτερο είναι μεταγενέστερο από την άφιξη ενός φωτεινού ή χερτζιανού κύματος που προέρχεται από το πρώτο. Διακρίνουμε λοιπόν δύο κατηγορίες ζευγών από γεγονότα:

1ο. Το δεύτερο γεγονός είναι μεταγενέστερο από την άφιξη του σήματος που εκπέμπεται από το πρώτο κατά τη στιγμή της παραγωγής του: τα δύο γεγονότα μπορούν να έχουν αιτιακή σύνδεση.

2ο. Το δεύτερο γεγονός είναι προηγούμενο από την άφιξη του σήματος που έρχεται από το πρώτο: ανάμεσά τους δεν μπορεί να υπάρχει αιτιακή σχέση.

Για τη δεύτερη κατηγορία γεγονότων δεν έχει σημασία αν ο παρατηρητής τα βλέπει κατά μία τάξη διαδοχής ή κατά την αντίθετη, μια και δεν μπορεί να υπάρχει αιτιακή σύνδεση ανάμεσά τους. Δεν υπάρχει λοιπόν λογική αντίρρηση στη δυνατότητα να αντιστρέφεται ή τάξη διαδοχής τέτοιων γεγονότων, όταν μεταβάλλεται το σύστημα αναφοράς.

Αυτή είναι ή βαθύτερη αιτία για την οποία επιβλήθηκε ή έννοια του απόλυτου χρόνου στη νευτώνεια μηχανική, ή οποία δεχόταν τη στιγμιαία διάδοση της αιτιότητας. "Επίσης ήταν δύσκολο για τη Σχετικότητα — που είχε στη βάση της το χρόνο της οπτικής — να απαλλαγεί από τις παλαιές αντιλήψεις, εφόσον δεν φαινόταν καθαρά ή σύνδεση ανάμεσα στην έννοια του χρόνου και στις αντιλήψεις για τη δράση με στιγμιαία ή με πεπερασμένη ταχύτητα. "Η αντίληψη για τη δράση με πεπερασμένη ταχύτητα εισάχθηκε στην ιστορία της φυσικής προοδευτικά. Στον ήλεκτρομαγνητισμό, περιέχεται στις ιδέες του Faraday. "Ο Maxwell, μεταφέροντας αυτές τις ιδέες στην περιοχή των μαθηματικών, εξεπλάγη βλέποντας ότι ή χρησιμοποίηση της δράσης από σημείο σε σημείο όδηγοῦσε σε μια εξίσωση διάδοσης ήλεκτρομαγνητικών κυμάτων, των οποίων ή ταχύτητα ήταν ακριβώς ίση με την ταχύτητα του φωτός. "Η πειραματική επαλήθευση από τον Hertz των υπολογισμών του Maxwell, που οδήγησε στην αποδοχή της ήλεκτρομαγνητικής

φύσης του φωτός, υπήρξε μια αποφασιστική στιγμή στην ιστορία των επισημών. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός φώτισε ολόκληρη τη φυσική οπτική, και αντικατέστησε τη θεωρία του αϊθέρα του Fresnel.

Αλλά αυτό που κανείς δεν αντιλήφθηκε ως τον Lorentz και τον Einstein είναι ότι η ηλεκτρομαγνητική θεωρία έρχεται σε αντίφαση με τη νευτώνεια μηχανική. Χρειάστηκε το πείραμα του Michelson και ανάλογες προσπάθειες για να αποκαλυφθεί αυτή η βαθύτερη σύγκρουση που υπήρχε στις ιδέες προτού αποκαλυφθεί από την εμπειρία.

Η αντίθεση αυτή θα μπορούσε να φανερωθεί από θεωρητική άποψη, ανεξάρτητα από οποιοδήποτε πείραμα. Οί νόμοι της κλασικής μηχανικής είναι πράγματι ταυτόσημοι για παρατηρητές που βρίσκονται σε αμοιβαία ομοιόμορφη μετατόπιση, και αυτό μεταφράζεται με το γεγονός ότι οι εξισώσεις διατηρούν τη μορφή τους όταν τους επιβάλουμε τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου. Ο Lorentz παρατήρησε αντίθετα ότι οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού διατηρούν τη μορφή τους σε μια διαφορετική αλλαγή μεταβλητών (ομάδα Lorentz). Και μόνον αυτό το γεγονός θα άρκούσε για να καταδειχθεί η βαθειά αντίθεση που υπήρχε ανάμεσα στην κλασική μηχανική και τον ηλεκτρομαγνητισμό, και που καταδίκαζε προκαταβολικά κάθε δυνατότητα για μηχανική εξήγηση του ηλεκτρομαγνητισμού. Κι αυτό γιατί από τις εξισώσεις της κλασικής μηχανικής που μένουν αμετάβλητες κατά τους μετασχηματισμούς της ομάδας του Γαλιλαίου, δεν μπορεί να ελπίζει κανείς ότι θα συναγάγει εξισώσεις οι οποίες, όπως οι ηλεκτρομαγνητικές, μένουν αναλλοίωτες κατά τους μετασχηματισμούς της ομάδας Lorentz. Και καθώς, από την άλλη πλευρά, οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού είχαν επαλήθευθεί με μια ακρίβεια πολύ ανώτερη από την ακρίβεια επαλήθευσης των εξισώσεων της μηχανικής, οι τελευταίες αυτές θα έπρεπε να εγκαταλειφθούν.

Η μεγάλη αξία του Einstein βρίσκεται στο ότι απέδειξε ότι η συμφιλίωση των δύο απόψεων απαιτούσε να διαπιστωθούν οι βαθιές επιπτώσεις της ιδέας για τη στιγμιαία δράση από απόσταση, πάνω στην έννοια του χρόνου. Ο Einstein μπόρεσε να αποδείξει ότι αν δινόταν ένας πειραματικός όρισμός της αντιστοιχίας των χρόνων από απόσταση, τότε κατέληγε κανείς στην ομάδα Lorentz που απαιτούσε η ηλεκτρομαγνητική θεωρία.

Όταν έγινε κατανοητό ότι η ιδέα που σχηματίζουμε για την αιτιότητα έχει επιπτώσεις στην έννοια του χρόνου, οδηγηθήκαμε στο να εγκαταλείψουμε την απόλυτη αντίληψη για το ταυτόχρονο και να δεχτούμε το φαινομενικά παράδοξο γεγονός ότι δυο παρατηρητές σε κίνηση μπορούν να βλέπουν δυο γεγονότα να διαδέχονται το ένα το άλλο, κατά μια τάξη ή κατά την αντίθετή της. Αντίστροφα, η χρονική τάξη δυο γεγονότων, που συνδέονται αιτιακά, δεν μπορεί να αντιστραφεί. Άλλωστε η παλαιά αντίληψη δεχόταν ότι η σύμπτωση γεγονότων στο χώρο, χωρίς χρονική σύμπτωση, δεν είχε παρά σχετικό χαρακτήρα, ενώ αποδιδόταν απόλυτος χαρακτήρας στη χρονική σύμπτωση χωρίς σύμπτωση στο χώρο. Η ένοποιηση των έννοιων του

χώρου και του χρόνου από τη θεωρία της σχετικότητας εισήγαγε μιάν αρμονία που δεν υπήρχε.

Ἡ γονιμότητα τῶν ιδεῶν, πού βρίσκονται στή βάση τῆς εἰδικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας, ἐκδηλώθηκε ιδιαίτερα μέ τὸ γεγονός ὅτι ἡ ἀρχὴ τῆς σχετικότητας, συνδυαζόμενη μέ τὶς γενικὲς ἀρχές τῆς φυσικῆς, ὀδηγεῖ σὲ μιὰ νέα δυναμικὴ ἢ ὁποῖα ἐναρμονίζεται μέ τὰ γεγονότα καλύτερα ἀπὸ τὴ δυναμικὴ τοῦ Νεύτωνα.

Ὁ Francis Perrin σᾶς θύμισε ὅτι ἡ ἀπόλυτη μάζα εἶναι κόρη τοῦ ἀπόλυτου χρόνου. Ἄν, ἀντίθετα, χρησιμοποιήσουμε τὴ νέα κινηματικὴ, ἔχουμε μιὰ νέα δυναμικὴ ὅπου ἡ μάζα εἶναι συνάρτηση τῆς ταχύτητας. Ἡ νέα δυναμικὴ εἰσάγει γενικότερα μιάν ἐξαιρετικὴ ἀπλοποίηση, βεβαιώνοντας τὴν ταυτότητα τῆς μάζας καὶ τῆς ἐνέργειας ἢ — πράγμα πού σημαίνει τὸ ἴδιο — τὴν ἀδράνεια τῆς ἐνέργειας.

Ἡ νέα μηχανικὴ ἦρθε νὰ ἀντικαταστήσει τὴν παλαιά, πού ἀποτελεῖ μιὰ πρώτη προσέγγιση, τὸ ἴδιο ὅπως καὶ ἡ κινηματικὴ τοῦ Einstein ἀντικατάστησε τὴν κινηματικὴ τοῦ Γαλιλαίου, ἢ ὁποῖα ἀποτελεῖ μιὰ προσέγγιση πού ἰσχύει γιὰ χαμηλὲς ταχύτητες. Μέ τὴν χρησιμοποίησιν ἠλεκτρονίων ἐγίνε δυνατό νὰ ἐπιτευχθοῦν ἀρκετὰ μεγάλες ταχύτητες, πού ἐπιτρέπουν νὰ ἐπαληθεύσουμε τὶς ἐξισώσεις τῆς νέας δυναμικῆς. Τὰ πειράματα πού ἐγιναν μέ σωμάτια, πού κινοῦνται μέ ταχύτητες παραπλήσιες μέ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, ἐπιβεβαίωσαν τὶς προβλέψεις τῆς ρελατιβιστικῆς δυναμικῆς. Καὶ περνώντας στὴν ἴδια τὴν θεωρία τοῦ φωτός, ἡ νέα δυναμικὴ ἐπιτρέπει νὰ καταργήσουμε τὴ διαμάχη πού ἀντιπαράθετε τὴν κυματικὴ στὴν σωματιδιακὴ ἀντίληψη. Χάρη σ' αὐτὴ μπορούμε νὰ ἐλπίζουμε ὅτι θὰ καταλήξουμε νὰ διαμορφώσουμε, ἀπὸ τὶς δύο αὐτὲς θεωρίες, τὴ σύνθεσιν πού ἀπαιτεῖ σήμερα ἡ κυματικὴ μηχανικὴ.

Ὅλα αὐτὰ τὰ ἀποτελέσματα προκύπτουν ἀπὸ τὴ δράσιν ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο. Ἦταν ὀδυνηρὸ νὰ ἐγκαταλείψουμε παραδεγμένες ἐννοιες, ἀλλὰ τὸ θάρρος καὶ ἡ τόλμη ἀνταμείφθηκαν ἀπὸ τὴ γονιμότητα τῆς νέας θεωρίας.

Ἡ ἴδια ἀλυσίδα ιδεῶν ἔδωσε στὸν Einstein τὸ αἶσθημα τῆς ἐμπιστοσύνης πού χρειαζόταν γιὰ τὴ διατύπωση τῆς θεωρίας τῆς γενικευμένης σχετικότητας.

Οἱ χωρικοὶ καὶ χρονικοὶ συμβολισμοὶ ἀποτελοῦν ἕναν εἰδικὸ τρόπο ἀρίθμησης τῶν γεγονότων. Τὸ Σύμπαν θεωρεῖται σὰν ἕνα τετραδιάστατο σύνολο, καὶ κάθε γεγονός ἀπαιτεῖ τὴν χρησιμοποίησιν τεσσάρων συντεταγμένων. Ἀλλὰ ἡ ἀρίθμηση μπορεῖ νὰ γίνῃ μέ ἐξαιρετικὰ διαφορετικοὺς τρόπους, ἀναφέροντας τὰ γεγονότα σὲ διαφορετικὰ συστήματα συντεταγμένων (βλ. τὴν διάλεξιν τοῦ κ. Darjois). Ἐνας ἀνεγκυστήρας σὲ ἐλεύθερη πτώσιν, λ.χ., εἶναι ἕνα μὴ γαλιλαϊκὸ σύστημα, σὲ σχέση μέ τὸ ὁποῖο μπορούμε νὰ κατατάξουμε τὰ γεγονότα. Γενικεύοντας ἀκόμα περισσότερο, τὸ «μαλάκιο» πού φαντάστηκε ὁ Einstein, εἶδος παραμορφώσιμης ζελατίνης, ὅπου οἱ ἄξονες τῶν συντεταγμένων θὰ ἦταν χρωματισμένα νήματα, θὰ μπορούσε ἀκόμα νὰ

χρησιμεύσει για την καταγραφή των γεγονότων, δοθέντος ότι σέβεται πάντοτε την απόλυτη σύμπτωση.

Ο Einstein συνέλαβε τη δυνατότητα για μια γενικευμένη σχετικότητα, όταν αντιλήφθηκε ότι όλοι οι νόμοι της φυσικής δεν κάνουν παρά να συντονίζονται τις αισθητηριακές μας εντυπώσεις, και ότι αυτές προκύπτουν από απόλυτες συμπτώσεις. Όλοι οι νόμοι μας δεν είναι παρά ή βεβαίωση διασυνδέσεων απόλυτων συμπτώσεων. Και καθώς αυτές οι διασυνδέσεις είναι ανεξάρτητες από τα συστήματα αναφοράς, πρέπει να μπορούμε να διατυπώσουμε τους νόμους της φυσικής ανεξάρτητα απ' αυτά τα συστήματα.

Δημιουργώντας την αναλυτική γεωμετρία, ο Καρτέσιος είχε δει όλο το ενδιαφέρον που παρουσίαζε η εισαγωγή των συντεταγμένων. Άλλα πριν απ' αυτόν οι γεωμέτρεις σκέφτονταν απευθείας με σχήματα και είχαν δημιουργήσει μια γεωμετρία με έγγενή (intrinsèque) χαρακτήρα, όπου οι ιδιότητες των σχημάτων διατυπώνονταν ανεξάρτητα από κάθε μέσο για τον έντοπισμό των σημείων ή των γραμμών. Στη γλώσσα της αναλυτικής γεωμετρίας του Καρτέσιου, οι συντεταγμένες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των σχημάτων μεταβάλλονται με το σύστημα αξόνων. Ωστόσο οι νόμοι και οι ιδιότητες για την απόδειξη των οποίων χρησιμεύουν είναι ανεξάρτητοι από την επιλογή του συστήματος. Οφείλουμε να μπορούμε, με μιάν αντίστροφη έννοια, να δημιουργήσουμε μια γεωμετρία της φυσικής. Μια φυσική με έγγενή χαρακτήρα θα διατύπωνε τις αιτιακές συσχετίσεις των απόλυτων συμπτώσεων και δεν θα αναφερόταν σε κανένα σύστημα συντεταγμένων.

Η πραγματικά μεγαλοφυής προσπάθεια του Einstein συνίσταται στο ότι επανέλαβε για το χώρο την κριτική που είχε γίνει για το χρόνο. Θα έπρεπε να επανέλθουμε στη βαθύτερη σημασία των συντεταγμένων, ακριβώς όπως έγινε με τη σημασία του συγχρονισμού από απόσταση. Την κριτική αυτή διευκόλυναν οι προγενέστερες εργασίες για το λογικό περιεχόμενο της παλαιάς γεωμετρίας. Μ' αυτή την έννοια, θεμελιωτές της σχετικότητας είναι επίσης οι Lobatchewsky, Gauss και Bolyai, οι οποίοι απέδειξαν ότι μπορούμε να κατασκευαστούμε γεωμετρίες ανεξάρτητα από τα αξιώματα του Ευκλείδη.

Οι γεωμετρίες αυτές αναπτύχθηκαν θαυμάσια από τον Riemann, και ο H. Poincaré έδειξε ότι εκφράζουν, σε άλλη γλώσσα, τα ίδια γεγονότα με την ευκλείδεια γεωμετρία. Αυτό που είχε ήδη προαισθανθεί ο Riemann είναι ότι η γεωμετρία δεν πρέπει να θεωρείται σαν ανεξάρτητη από τη φυσική. Αντί για έναν κατανάγκη ευκλείδειο χώρο, που συνιστά ένα άκαμπτο πλαίσιο, και του οποίου οι ιδιότητες είναι ανεξάρτητες από το περιεχόμενό του, θα πρέπει να αποβλέψουμε σε μια γεωμετρία που καθορίζεται από το πραγματικό περιεχόμενο του Σύμπαντος.

Ο Poincaré υιοθέτησε μια στάση κατά κάποιο τρόπο έκλεκτική: από τη στιγμή που δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στη λογική αξία των διαφόρων γεωμετριών, μπορούμε να πάρουμε αδιάφορα είτε τη μια είτε την άλλη,

ἀρκεῖ νὰ τροποποιῶμε τοὺς φυσικοὺς νόμους ὅταν περνᾶμε ἀπὸ τὴ μιὰ στὴν ἄλλη. Δὲν εἶχε προβλέψει ὅτι μὲ τὴν ἐπιλογὴ τῆς γεωμετρίας τοῦ Riemann, ὅπου οἱ ιδιότητες καμπυλότητος τοῦ χωρόχρονου καθορίζονται ἀπὸ τὸ περιεχόμενό του, ὁ Einstein θὰ πετύχαινε νὰ φωτίσει μὲ νέο φῶς τὸ παλαιὸ μυστήριον τῆς βαρύτητος.

Ἔτσι ἡ βαθιὰ κριτικὴ τῆς ἔννοιᾶς τοῦ χρόνου ἐπέτρεψε μιὰ διασάφηση τῆς μηχανικῆς, καὶ ἡ κριτικὴ τῆς ἔννοιᾶς τοῦ χώρου ἐπέτρεψε νὰ φωτιστεῖ τὸ μυστήριον τῆς βαρύτητος. Ἡ ἐνσωμάτωση τῆς γεωμετρίας στὴ φυσικὴ ἐπέτρεψε νὰ κατανοήσουμε ἄμεσα τὴν ταυτότητα τῆς μάζας ἀδρανείας καὶ τῆς ἐλκτικῆς μάζας.

Ἀλλὰ μὲ τὸ κριτικὸ μέρος τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητος, ποὺ καταλήγει στὴν ἐγκατάλειψη τοῦ ἀπόλυτου χρόνου καὶ τοῦ εὐκλείδειου χώρου, συνδέεται στενὰ ἓνα μέρος ἐποικοδομητικὸ, ποὺ καταλήγει στὴ σύνθεση τοῦ χωρόχρονου.

Ὁ Minkowski ἔδειξε ὅτι ἡ ἐνότητα τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου ὀδηγεῖ σὲ ἓνα νέο ἀπόλυτο καὶ ὅτι ὁ χωρόχρονος ποὺ συνδέεται μὲ ἓναν παρατηρητὴ ἀντιπροσωπεύει μιὰν ἰδιαίτερη προοπτικὴ. Οἱ διάφοροι παρατηρητὲς διαφοροποιοῦνται ἀπὸ τὴ μὴ-σύμπτωση τῶν χώρων καὶ τῶν χρόνων τους.

Ἡ συνθετικὴ δύναμις τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητος ἐκδηλώνεται σὲ ὅλους τοὺς τομεῖς. Οἱ εἰσηγήσεις τῶν κ.κ. Bauer καὶ F. Perrin σᾶς ἔδειξαν ὅτι ὀδηγηθήκαμε νὰ συσχετίσουμε ὡς συνιστώσες ἑνὸς καὶ τοῦ αὐτοῦ τανυστῆ στοιχεῖα τὰ ὁποῖα ἦταν ἕως τώρα διακεκριμένα: ἡ ἐνέργεια καὶ ἡ ποσότητα κίνησης εἶναι ἡ χρονικὴ καὶ χωρικὴ πλευρὰ ἑνὸς τανυστῆ Σύμπαντος: τῆς Ὁρμῆς. Ἐπίσης, τὸ ἠλεκτρικὸ καὶ τὸ μαγνητικὸ πεδίο ἐνσωματώνονται στὸν ἠλεκτρομαγνητικὸ τανυστὴ μὲ ἕξι συνιστώσες. Καὶ ὅλα αὐτὰ συμβάλλουν στὴν προπαρασκευὴ τῆς σύνθεσης τῶν σωματιδιακῶν καὶ τῶν κυματικῶν ἀντιλήψεων γιὰ τὸ φῶς.

Ἡ εἰδικὴ θεωρία τῆς σχετικότητος ἦρθε νὰ ἀνατρέψει τὴν ἱεραρχία τῶν ἐπιστημῶν τοῦ Auguste Comte. Ἡ μηχανικὴ ἔπαυσε νὰ εἶναι τὸ πρότυπο ποὺ μὲ βάση του θὰ ἔπρεπε νὰ διαμορφωθεῖ ἡ φυσικὴ ἐρμηνεία. Ἀντίθετα, ἡ θεωρία τῆς σχετικότητος ἐνσωμάτωσε τὴ μηχανικὴ στὴ φυσικὴ, καὶ τὴ μετέτρεψε στὸ εἰδικὸ κεφάλαιο τῆς φυσικῆς ποὺ ἀφορᾷ τὶς κινήσεις τῆς ὕλης. Ἡ μηχανικὴ ἔπαυσε νὰ εἶναι ἡ ὀρθολογικὴ ἐπιστῆμη καὶ τὸ πρότυπο ποὺ ἔπρεπε νὰ ἀποτελέσει τὴν ἐξηγητικὴ βάση γιὰ τὶς ἄλλες ἐπιστῆμες. Ἀντίθετα, μᾶς φαίνεται ὡς ἡ πιὸ περίπλοκη, ἡ τελευταία στὴν τάξη τῶν ἐξηγήσεων. Μήπως ἡ τωρινὴ κρίσις τῆς φυσικῆς δὲν ὀφείλεται στὸ ὅτι ἐπιχειρήθηκε νὰ ἐπεκταθεῖ στὴν ἐνδο-ἀτομικὴ περιοχὴ ἡ ἔννοια τοῦ ὑλικοῦ σημείου τῆς κλασικῆς μηχανικῆς;

Ὁ κ. Darboux σᾶς ἔδειξε ὅτι δύσκολα φτάνουμε στὸν προσδιορισμὸ τῶν νόμων τῆς κίνησης ἑνὸς σώματος. Τὸ πρόβλημα μπορεῖ νὰ λυθεῖ μόνο στὴν περίπτωσι μῆς μάζας ἄπειρα μικρῆς, τοποθετημένης στὸ πεδίο μῆς ἀξιοσημείωτης μάζας.

Ἡ δυσκολία εἶναι ὀξύτερη γιὰ τὴ δεύτερη μορφή τῆς γενικευμένης σχετικότητας, πὸ εἰσήγαγε ὁ Einstein. Τὸ νέο ἀποτέλεσμα πὸ ἔχει ἐπιτευχθεῖ μέχρι σήμερα περιλαμβάνει τὸ σύνολο τῶν νόμων πὸ διέπουν τὸ ἠλεκτρομαγνητικὸ καὶ τὸ βαρυτικὸ πεδίο. Δὲν εἶναι ὥστόσο γνωστὸ πῶς θὰ παρασταθεῖ ἡ ὕλη, καὶ ποιά θὰ εἶναι ἡ συμπεριφορὰ τῆς στὸ γενικευμένο αὐτὸ πεδίο.

Στὸ βαθμὸ πὸ ἀναπτύσσεται τὸ οἰκοδόμημα τῶν παραστάσεων μας, βλέπουμε τὶς ιδέες πὸ μᾶς φαίνονταν ὡς οἱ πιὸ ἀπλὲς νὰ εἶναι, στὴν πραγματικότητα, οἱ πιὸ περίπλοκες. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ ἐξηγεῖται, ἂν δοῦμε τὴ διαφορὰ πὸ ὑπάρχει ἀνάμεσα στὸ ἀπλὸ καὶ στὸ οἰκεῖο.

Μιὰ ἐξήγηση ὀφείλει νὰ ἀναγάγει τὸ ἄγνωστο στὸ γνωστὸ, καὶ στὴν ἀρχὴ στηρίζεται ἀναγκαστικὰ στὸ οἰκεῖο. Καθὼς οἱ μηχανικὲς ιδιότητες ἐκδηλώνονται πιὸ ἄμεσα στὶς αἰσθήσεις μας, ἦταν φυσικὸ οἱ πρῶτες προσπάθειες γιὰ ἐξήγηση τοῦ κόσμου νὰ καταφύγουν στὶς ἔννοιες τῆς μηχανικῆς. Ἡ ἀξιοσημεῖωτη ἐπιτυχία αὐτοῦ τοῦ τρόπου ἐξήγησης στὴν οὐράνια μηχανικὴ θὰ προέτρεπε ἀναπόφευκτα στὴν ἐπέκτασή του σ' ὀλόκληρη τὴν Ἐπιστήμη. Κατόπιν ἐμφανίστηκε ὁ ἠλεκτρομαγνητισμὸς, ἔγινε μιὰ ἀπότομη στροφὴ καὶ οἱ προγονικὲς ιδέες μας δὲν ἦταν πλέον ἐπαρκεῖς γιὰ μιὰ συνεκτικὴ παράσταση τοῦ κόσμου.

Ἡ στροφὴ τῆς ὁποίας εἴμαστε μάρτυρες εἶναι ἓνα καθολικὸ γεγονὸς στὴ φυσικὴ. Φαίνεται ὅτι ἡ φύση μᾶς παρουσιάζεται πάντα στὴν ἀρχὴ μὲ τὴν πιὸ περίπλοκη μορφή τῆς. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸ ὅτι ἡ ἐπιστημονικὴ ἔρευνα στὴν ἀρχὴ στηρίζεται ἀναγκαστικὰ στὰ ἐπιφανειακὰ δεδομένα μιᾶς πρώτης ἐμπειρίας, πὸ ἀποκαλύπτονται σὲ συνέχεια ἐντελῶς ἀνεπαρκῆ, στὸ βαθμὸ πὸ τὰ μέσα τῆς ἔρευνας γίνονται ὄλο καὶ πιὸ ἐκλεπτυσμένα. Συνοπτικά, εἶναι ἱκανοποιητικὸ τὸ ὅτι οἱ ιδέες πὸ ἔμοιαζαν σὰν οἱ περισσότερο θεμελιώδεις καὶ ἀναγκαῖες τελικὰ ἐγκαταλείπονται ὡς ἐξηγητικὴ βάση.

Ἔτσι, ἡ εὐθύγραμμη διάδοση τοῦ φωτὸς στὴν ὀπτικὴ, ἡ ἔλξη τῶν ἐλαφρῶν σωμάτων στὸν ἠλεκτρισμὸ, οἱ ιδιότητες τῶν σιδηρομαγνητικῶν σωμάτων στὸ μαγνητισμὸ ἀνακαλύφθηκαν πρῶτες καὶ θεωρήθηκαν ἀπλὲς, ἐπειδὴ ἦταν οἰκεῖες. Σήμερα τὶς βλέπουμε σὰν τὰ πιὸ σύνθετα προβλήματα τῶν τριῶν ἀντίστοιχων περιοχῶν τῆς φυσικῆς. Τὸ ἴδιο συμβαίνει μὲ τὸ σύνολο τῆς Ἐπιστήμης μας, ἔτσι πού, ἀντίθετα μὲ αὐτὰ πὸ πίστευε ὁ Auguste Comte, ἡ μηχανικὴ θὰ βρῖσκεται στὴν τελευταία σειρά, στὴ μελλοντικὴ φυσικὴ.

Ἡ γενικευμένη σχετικότητα πραγματοποίησε γιὰ τὸ χῶρο τὸν ἴδιο μετασχηματισμὸ πὸ ἔκανε γιὰ τὸ χρόνο ἡ εἰδικὴ θεωρία. Στὴ φυσικὴ γεωμετρία τοῦ Einstein, πὸ διέπει πραγματικὰ τὶς χωρικὲς ιδιότητες τῆς ὕλης, οἱ γεωμετρικοὶ νόμοι ἐξαρτῶνται ἀπ' ὄλη τὴν ὕλη πὸ εἶναι παρούσα στὸ σύμπαν. Ἡ μετατόπιση πρὸς τὸ ἐρυθρὸ τῶν φασματικῶν γραμμῶν, πὸ ἐκπέμπονται στὴν περιοχὴ μιᾶς μεγάλης ἐλκτικῆς μάζας (λ.χ. τοῦ ἡλίου), μεταφράζει πειραματικὰ τὴ διαστολὴ τοῦ χρόνου στὴν παρουσία ὕλης.

Ἡ σημερινὴ κρίση τῆς κβαντικῆς θεωρίας συνδέεται, ἀπὸ μιὰ ἄποψη,

μὲ μιὰ ὑπερβολικὰ ἀπόλυτη ἀποκοπὴ ἀπὸ ὅ,τι μᾶς περιβάλλει. Στὴ βάση τῶν δυσκολιῶν ποὺ συναντᾶμε, βρίσκεται ἡ ἀντίληψη γιὰ τὴν ἀτομικότητα τῶν μικροσωματίων. Θελήσαμε νὰ εἰσαγάγουμε στὴν ἐνδο-ἀτομικὴ δυναμικὴ τὴν ἀρκετὰ ἐπιπόλαιη ἔννοια τοῦ «ἐπιμέρους» (individu) καὶ ἀντιλαμβανόμεστε σήμερα ὅτι δὲν εἶναι νόμιμο νὰ μιᾶμε γιὰ κινήσεις ἐπιμέρους σωματιδίων σὲ μιὰ τόσο μικρὴ κλίμακα. Φαίνεται ὅτι ἡ ἀλληλεξάρτηση, ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα σὲ ὅλα τὰ στοιχεῖα τοῦ Σύμπαντος, ὀφείλει νὰ ἐκφράζεται μέσα στὴν ἴδια τὴ δομὴ τῆς ἐπιστήμης.

Ἡ νοητικὴ διαδικασία ποὺ ἀποκαλύπτει ἡ ἀνάπτυξη τῆς σχετικότητας εἶναι οὐσιαστικὰ μιὰ διαδικασία ἐξελικτικὴ, ποὺ συνίσταται στὴ δημιουργία νέων ἐννοιῶν, μὲ τὸ νὰ μὴν ἀποδίδεται ἀπόλυτη ἀξία στίς ἔννοιες ποὺ προκύπτουν ἀπὸ μιὰ ἀρχικὴ καὶ ἐπιφανειακὴ ἐπαφὴ μὲ τὴ φύση.

Στὴν εἰδικὴ σχετικότητα, οἱ διαπιστώσεις ποὺ κάνουν κινούμενοι παρατηρητὲς φαίνονται ἀντιφατικές. Ταυτόσημοι κανόνες, λ.χ., φαίνονται διαφορετικοί, σὲ διάφορες ὁμάδες παρατηρητῶν ποὺ βρίσκονται σὲ σχετικὴ κίνηση. Μὲ ἓνα εἶδος ἐγγελιανῆς διαλεκτικῆς, ἡ εἰδικὴ σχετικότητα ἀναίρεσε αὐτὲς τίς ἀντιφάσεις, δημιουργώντας μιὰ σύνθεση, ὅπου καθένα ἀπὸ τὰ φαινομενικὰ ἀντίθετα δεδομένα δὲν ἀντιπροσωπεύει παρά μιὰν ἄποψη τοῦ συνόλου. Εἶναι ἐνδιαφέρον νὰ παρατηρήσουμε ὅτι αὐτὴ ἡ μέθοδος ἐργασίας δὲν εἶναι νέα. Ἡ ἴδια ἡ ἔννοια τοῦ «ἀντικειμένου» εἶναι στὴν πραγματικότητα πολὺ περίπλοκη, καὶ ἀντιπροσωπεύει τὴ σύνθεση ἑνὸς συνόλου αἰσθητηριακῶν δεδομένων φαινομενικὰ ἀντιφατικῶν. Καὶ ὅταν «σκεφτόμαστε ἓνα ἀντικείμενο», πραγματοποιοῦμε μιὰ σύνθεση ὅλων τῶν δυνατῶν αἰσθητηριακῶν δεδομένων, σὲ σχέση μ' αὐτὸ τὸ ἀντικείμενο.

Ἡ σχετικότητα τῆς ἔννοιας τοῦ ἀντικειμένου βρίσκεται στὴ βάση ὁλόκληρης τῆς γλώσσας μας καὶ τῆς δυνατότητας νὰ ἐπικοινωνοῦμε μεταξύ μας. Τὸ ἴδιο ἰσχύει καὶ γιὰ τὴ θεωρία τῆς σχετικότητας στὴ φυσικὴ. Τὸ Σύμπαν, ἰδωμένο ἀπὸ τὸν ἓνα, φαινόταν πολὺ διαφορετικὸ ἀπ' ὅ,τι ἀπὸ τὸν ἄλλο. Οἱ ἀντιφάσεις ἐξαφανίστηκαν χάρι στὴ δημιουργία ἑνὸς νέου ἀντικειμένου. Ἡ φυσικὴ μας ἔγινε μιὰ γεωμετρία τοῦ Σύμπαντος. Ὅπως ἡ καθαρὴ γεωμετρία εἶναι ἡ ἐπιστήμη τῶν μορφῶν, ἡ φυσικὴ εἶναι ἡ ἐπιστήμη τοῦ συνόλου τῶν διασυνδέσεων τῶν γεγονότων.

Ἡ διαδικασία αὐτὴ, ποὺ ἐπεκτείνει τὴ δραστηριότητα τῶν διαφόρων κλάδων τῆς γνώσης, δὲν εἶναι παρά μιὰ ἀπὸ τίς πλευρὲς τῆς προσπάθειας ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ προσαρμοσθεῖ ἡ νόηση στὰ γεγονότα, προσπάθεια ποὺ ἄρχισε ἀπὸ τότε ποὺ ἐμφανίστηκε ἡ ζωὴ στὸν κόσμον. Ἡ ἐπιστημονικὴ προσπάθεια δὲν εἶναι οὔτε αὐθαίρετη οὔτε ἀπομονωμένη, μιὰ καὶ ἡ ἐπιστήμη δὲν εἶναι παρά ὁ κοινὸς νοῦς, λίγο πιὸ προηγμένος. Τὸ ἔργο τῆς ἐπιστήμης προχωρεῖ ὅπως κάθε ἀνθρώπινο ἔργο, καὶ δὲν μπορεῖ νὰ πραγματοποιηθεῖ παρά μόνον ἂν βρίσκεται σὲ ἐπαφὴ μὲ ὅλους τοὺς πόρους τῆς ἀνθρώπινης κοινότητας. Τὸ ὑποχρεωτικὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι δὲν πρέπει νὰ ἀφήσουμε νὰ περιοριστεῖ σ' ἓνα μικρὸ ἀριθμὸ ἐγκεφάλων τὸ ἀποτέλεσμα τῶν προσ-

παθειῶν μας. Αὐτὰ ποὺ γνωρίζουν σήμερα οἱ περισσότεροι ἄνθρωποι ἦταν πρὶν ἀπὸ πενήντα χρόνια τὸ προνόμιο ἑνὸς μικροῦ ἀριθμοῦ πνευμάτων. Ἡ πρόοδος αὐτὴ θὰ συνεχισθεῖ χωρὶς διακοπὴ γιὰτὶ οἱ ἐπιστημονικὲς γνώσεις εἶναι μιὰ ἀπὸ τὶς στιγμὲς τῆς συλλογικῆς προσαρμογῆς τῆς νόησης στὰ γεγονότα.

Μετάφραση: Ε. Μπιτσάκης