

# ΝΕΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΦΥΣΙΚΗ\*

Τοῦ **Louis de Broglie**  
Βραβεῖον Νόμπελ

Στὴ χώρα μας εἶναι ἐλάχιστα γνωστὲς οἱ ἐξελίξεις ποὺ συντελοῦνται στὴν περιοχὴ τῆς Θεωρητικῆς Φυσικῆς. Εἶναι γνωστὸ ὅτι στὶς τρεῖς πρῶτες δεκαετίες τοῦ αἰῶνα μας πραγματοποιήθηκε στὴ φυσικὴ μιὰ ἐπανάσταση, ποὺ ὁδήγησε στὶς θεωρίες τῶν Κβάντα καὶ τῆς Σχετικότητας. Οἱ νέες θεωρίες φανέρωσαν στὸν ἄνθρωπο καινούριους κόσμους, τόσο στὸ μακρόκοσμο, ὅσο καὶ στὸ μικρόκοσμο, δημιουργώντας μιὰ καθολικὴ ἐπιστημονικοτεχνικὴ καὶ φιλοσοφικὴ ἀναταραχὴ. Σήμερα ἡ θεωρητικὴ φυσικὴ καὶ εἰδικώτερα ἡ κβαντικὴ θεωρία περνάει κρίση. Προβλήματα ἅλυστα ζητοῦν ἀπάντηση, θέτοντας ἐπιτακτικὰ τὸ αἶτημα μιᾶς ἐπαναστατικῆς ἀνανέωσης τῆς θεωρητικῆς φυσικῆς. Τὰ «Σύγχρονα Θέματα» θὰ προσπαθήσουν νὰ δώσουν μιὰ εἰκόνα τῶν νέων προβλημάτων, τάσεων καὶ δυνατοτήτων τῆς θεωρητικῆς φυσικῆς, ποὺ ὅπως εἶναι εὐνόητο δὲν ἔχουν μόνον τεράστιο ἐπιστημονικὸ, ἀλλὰ καὶ ἰδιαίτερο φιλοσοφικὸ ἐνδιαφέρον. Ἀρχίζουμε μὲ ἓνα κείμενο τοῦ μεγάλου Γάλλου φυσικοῦ Louis de Broglie. Σὲ ἐπόμενα τεύχη θὰ δώσουμε καὶ ἄλλα κείμενα διαπρεπῶν ξένων ἐπιστημόνων, ἐλπίζοντας ὅτι ἀπὸ τὴν προσπάθειά μας δὲν θὰ ἀπουσιάσει καὶ ἡ Ἑλληνικὴ Ἐπιστήμη. Κρίναμε σκόπιμο νὰ ἀρχίσουμε μὲ ἓνα κάπως παλαιότερο κείμενο τοῦ De Broglie, γιατί, ἐκτὸς τῶν ἄλλων, κάνει καὶ μιὰ σύντομη σκιαγραφία τοῦ ἱστορικοῦ τοῦ προβλήματος.

Κατὰ τὴν ἄποψη τοῦ Bohr καὶ τοῦ Heisenberg, δὲν ὑπάρχει παρὰ τὸ σωματίο καὶ τὸ συνεχές κύμα  $\Psi$ . Ὡστόσο οὔτε τὸ ἓνα, οὔτε τὸ ἄλλο, μποροῦν νὰ παρασταθοῦν κατὰ τὸν κλασικὸ τρόπο. Γενικὰ δὲ μπορεῖ νὰ ἀποδοθεῖ στὸ σωματίο οὔτε θέση, οὔτε ταχύτητα, οὔτε τροχιὰ αὐστηρὰ καθορισμένες: μόνον τὴ στιγμὴ μιᾶς παρατήρησης ἢ μιᾶς μέτρησης, μπορεῖ νὰ παρουσιάζεται ὅτι κατέχει μιὰ τέτοια θέση ἢ ταχύτητα. Κατὰ κάποιον τρόπο σὲ κάθε στιγμὴ τὸ σωματίο κατέχει μιὰ ὁλόκληρη σειρὰ θέσεων ἢ κινητικῶν καταστάσεων, καὶ οἱ διάφορες αὐτὲς δυνατότητες μποροῦν νὰ ἐκδηλώνονται μὲ κάποιες πιθανότητες κατὰ τὴ στιγμὴ τῆς μέτρησης. Ἐδῶ ἐπεμβαίνει τὸ κύμα ποὺ συνδέεται μαζί του: εἶναι ἓνα εἶδος παράστασης τοῦ συνόλου τῶν δυνατοτήτων τοῦ σωματίου, μὲ τὶς ἀντίστοιχες πιθανότητες τους. Ἔτσι ἡ ἐπέκταση τοῦ κύματος  $\Psi$  μέσα στὸ χῶρο ἀντιπροσωπεύει τὴν ἀπροσδιοριστία τῆς θέσης τοῦ σωματίου, τὸ ὁποῖο μπορεῖ νὰ ἐμφανισθεῖ σ' ἓνα ὁποιοδήποτε σημεῖο τῆς περιοχῆς ποὺ κατέχει τὸ κύμα, μὲ πιθανότητα ἀνάλογη μὲ τὸ τετράγωνο τοῦ πλάτους τοῦ κύμα-

\* De Broglie: «Nouvelles perspectives en Microphysique», Albin Michel, Paris, 1958, σελ. 130-143.



τος σ' αὐτὸ τὸ σημείο. Τὸ ἴδιο ἰσχύει γιὰ τὴν κινητικὴ κατάσταση: τὸ κύμα  $\Psi$  ἔχει μιὰ «φασματικὴ» ἀνάλυση σὲ σειρὰ ἢ δλοκλήρωμα Fourier καὶ ἡ ἀνάλυση αὕτῃ ἀντιπροσωπεύει ὅλα τὰ δυνατὰ ἀποτελέσματα μιᾶς μέτρησης τῆς ποσότητος κίνησης. Ἡ πιθανότητα κάθε δυνατοῦ ἀποτελέσματος μιᾶς τέτοιας μέτρησης, δίδεται ἀπὸ τὸ τετράγωνο τοῦ ἀντίστοιχου συντελεστῆ τῆς ἀνάλυσης κατὰ Fourier. Καὶ ἡ ἐρμηνεία ἀναπτύσσεται κάτω ἀπὸ μιὰ πολὺ γενικὴ μορφή, ποὺ μπορεῖ νὰ ἐφαρμοσθεῖ σὲ κάθε μετρήσιμο μέγεθος. Ἡ ἐρμηνεία παίρνει μιὰ λαμπρὴ μαθηματικὴ διατύπωση, ὅπου ὑπεισέρχονται ὅλα τὰ μέσα τῆς γραμμικῆς ἀνάλυσης: ἡ θεωρία τῶν συναρτήσεων καὶ τῶν εἰδικῶν τιμῶν, οἱ ἀναπτύξεις σὲ σειρὰ εἰδικῶν συναρτήσεων, οἱ μῆτρες, ὁ χώρος Hilbert, κλπ. Καὶ ἀποδεικνύεται πὼς ἡ μαθηματικὴ αὕτῃ διερεύνηση ἔχει σὰν ἀναπόφευκτη συνέπεια τὴν «ἀπροσδιοριστία τοῦ Heisenberg», σύμφωνα μὲ τὴν ὁποία δὲ μπορούμε ποτὲ νὰ γνωρίσουμε μὲ ἀκρίβεια καὶ τὴν ἴδια στιγμὴ, τὴ θέση καὶ τὴν κινητικὴ κατάσταση ἑνὸς σωματίου. Κι' αὐτό, γιατί κάθε παρατήρηση ἢ πείραμα ποὺ αὐξάνει τὶς γνώσεις μας γιὰ τὴ θέση, ἔχει σὰν ἀποτέλεσμα τὸν περιορισμὸ τῶν γνώσεών μας γιὰ τὴν ποσότητα τῆς κίνησης καὶ ἀντίστροφα.

Ἡ ἐρμηνεία τῆς κυματικῆς μηχανῆς τῶν Bohr καὶ Heisenberg ἔχει πολὺ ἀριθμὸς συνέπειες, ποὺ ἀνοίγουν νέες φιλοσοφικὲς προοπτικὲς. Τὸ σωματίο δὲν εἶναι πιά ἓνα ἀντικείμενο σαφῶς ὀρισμένο μέσα στὰ πλαίσια τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου. Δὲν εἶναι πιά παρὰ ἓνα σύνολο πιθανοκρατικῶν δυνατοτήτων, μιὰ ὄντοτητα ποὺ μᾶς παρουσιάζεται φευγαλέα, ἄλλοτε μὲ μιὰ μορφή κι' ἄλλοτε μ' ἄλλη. Ὁ Bohr, ποὺ εἶναι λίγο Ρέμπαντ τῆς σύγχρονης φυσικῆς, γιατί μερικὲς φορές φανερώνει κάποια προτίμηση γιὰ τὸ ἡμίφως, ἔχει πεῖ γιὰ τὰ σωματίδια, ὅτι εἶναι «unsharply, defined individuals within finite time - space limits» (ὄχι αὐστηρὰ καθορισμένες ἀτομικότητες μέσα σὲ ὀρισμένα χωροχρονικά ὄρια — Σ.τ.Μ.). Ὅσο γιὰ τὸ κύμα, χάνει κι' αὐτό, πρὸ δλοκληρωτικὰ κι' ἀπὸ τὸ σωματίο, τὴν παλαιὰ φυσικὴ του ἔννοια. Δὲν ἀποτελεῖ πιά παρὰ μιὰ παράσταση πιθανοτήτων (ἓνα στοιχεῖο πρόβλεψης, λέγει ὁ κ. De-

stouches) ἐξαρτώμενη ἀπὸ τὶς γνώσεις ἐκείνου ποὺ τὸ χρησιμοποιεῖ. Εἶναι προσωπικὸ καὶ ὑποκειμενικὸ, ὅπως ἡ κατανομὴ τῶν πιθανοτήτων καὶ ὅπως αὐτές, τροποποιεῖται καὶ τοῦτο ἀπότομα, ὅταν ἐκεῖνος ποὺ τὸ χρησιμοποιεῖ ἀποκτᾷ νέες πληροφορίες: ἐδῶ βρίσκεται αὐτὸ ποὺ ὁ Heisenberg ὀνόμασε «συμπύκνωση (reduction) τῆς κυματοδέσμης ἀπὸ τὴ μέτρηση», «συμπύκνωση» ποὺ μόνη θὰ ἀρκοῦσε νὰ ἀποδείξει τὸν μὴ φυσικὸ χαρακτήρα τοῦ κύματος  $\Psi$ .

Τὴν ἴδια στιγμὴ ἐξαφανιζόταν ὁ ντετερμινισμὸς τῶν φαινομένων τὸν ὁποῖον δεχόταν ἡ παλαιὰ φυσικὴ καὶ ὁ ὁποῖος συνδεόταν μὲ τὴ δυνατότητα νὰ μορφώσουμε μιὰ ἀκριβῆ εἰκόνα τῆς φυσικῆς πραγματικότητας, μέσα στὰ πλαίσια τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου. Τώρα πιά δὲν εἶναι γενικὰ δυνατόν νὰ προβλέψουμε μὲ βεβαιότητα τὰ φαινόμενα ποὺ πρόκειται νὰ συμβοῦν: μόνον οἱ πιθανότητες τῶν διαφορῶν δυνατῶν φαινομένων προσφέρονται στοὺς ὑπολογισμούς μας. Εἶναι ἀλήθεια πὼς ἀνάμεσα σὲ κάθε μέτρηση οἱ πιθανότητες ἔχουν μιὰ αὐστηρὴ ἐξέλιξη, ρυθμιζόμενη ἀπὸ τὴν κυματικὴ ἐξίσωση. Ὡστόσο κάθε νέα μέτρηση ἢ παρατήρηση, μὲ τὶς πληροφορίες ποὺ μᾶς προσκομίζει, διακόπτει τὴν πορεία τοῦ ντετερμινισμοῦ αὐτοῦ τῶν πιθανοτήτων.

Ἡ ἐρμηνεία τῶν Bohr καὶ Heisenberg ὄχι μόνον ἀνάγει ὅλη τὴ φυσικὴ στὴν πιθανότητα, ἀλλὰ δίνει σ' αὕτῃ τὴν ἔννοια ἓνα νόημα ὀλότελα νέο γιὰ τὴν ἐπιστήμη. Οἱ μεγάλοι διδάσκαλοι τῆς κλασσικῆς ἐποχῆς, ἀπὸ τὸν Laplace μέχρι τὸν Henri Poincaré, διεκήρυξαν πάντα ὅτι τὰ φυσικὰ φαινόμενα εἶναι καθορισμένα καὶ ὅτι ἡ πιθανότητα, ὅταν εἰσάγεται στὶς ἐπιστημονικὲς θεωρίες, προέρχεται ἀπὸ τὴν ἄγνοια ἢ τὴν ἀδυναμία μας νὰ παρακολουθήσουμε ἓνα περίπλοκο ντετερμινισμό. Ἐν τούτοις στὴ σήμερα ἀποδεκτὴ ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς φυσικῆς, ἔχουμε νὰ κάνουμε μὲ τὴν «καθαρὴν πιθανότητα», ποὺ δὲν προέρχεται ἀπὸ κάποιο λαθάνοντα ντετερμινισμό. Στὶς κλασσικὲς θεωρίες, ὅπως στὴν κινητικὴ θεωρία τῶν ἀερίων, οἱ πιθανοκρατικοὶ νόμοι ἐθεωρεῖτο ὅτι προέρχονταν ἀπὸ τὴν ἄγνοια τῶν δλοκληρωτικὰ καθορισμένων, ἀλλὰ ἄτακτων καὶ περίπλοκων κινήσεων τῶν ἀναρίθμητων μορίων τοῦ ἀερίου. Ἡ γνώ-



ση τῶν θέσεων καὶ τῶν ταχυτήτων τῶν μορίων, θὰ μᾶς ἐπέτρεπε κατ' ἀρχὴν νὰ ὑπολογίσουμε αὐστηρὰ τὴν ἐξέλιξη τοῦ ἀερίου. Οἱ πιθανότητες εἰσάγονται στὴν πράξη, ἐξαιτίας τῆς ἄγνοιας τῶν τιμῶν τῶν λανθανουσῶν αὐτῶν παραμέτρων. Ἡ καθαρὰ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία τῆς κυματικῆς μηχανῆς ἀπορρίπτει ἐν τούτοις μιὰ τέτοια ἐρμηνεία τῶν πιθανοκρατικῶν της νόμων: Οἱ νόμοι αὐτοὶ δὲν εἶναι ἀποτελεσμα τῆς ἄγνοιας λανθανουσῶν παραμέτρων, ποὺ θᾶταν οἱ συντεταγμένες καὶ ἡ ταχύτητα τοῦ σωματίου, γιατί τέτοιες παράμετροι δὲν ὑπάρχουν. Τὸ σωματίο δὲν μπορεῖ νὰ ἐμφανισθεῖ μὲ καθορισμένη θέση ἢ ταχύτητα παρὰ μόνο φευγαλέα, τὴ στιγμὴ μιᾶς παρατήρησης ἢ μιᾶς μέτρησης. Ἡ πιθανότητα στὴν κβαντικὴ φυσικὴ δὲν προέρχεται πιά ἀπὸ ἄγνοια. Εἶναι καθαρὴ συμπτωματικότης.

Μὲ μιὰ περίφημη συλλογιστικὴ, ὁ νομ Neumann ἀπέδειξε πρὶν ἀπὸ εἴκοσι χρόνια περίπου, ὅτι ἡ μορφή τῶν πιθανοκρατικῶν νόμων τῆς κυματικῆς μηχανικῆς ποὺ ἔχουν ἐπαληθευθεῖ πειραματικά, εἶναι ἀσυμβίβαστη μὲ τὴν ὑπαρξὴ λανθανουσῶν παραμέτρων. Ἔτσι θὰ κόβονταν ὀριστικὰ οἱ γέφυρες: θᾶταν ἀδύνατο νὰ γυρίσουμε πίσω καὶ ἀποδίδοντας στὸ σωματίο τὸν κλασσικὸ ὁρισμὸ του, νὰ ἐρμηνεύσουμε μὲ τὴ βοήθεια λανθανουσῶν παραμέτρων τὴ μαθηματικὴ διατύπωση (formalisme) τῆς κβαντικῆς μηχανῆς. Ἡ ἀπόδειξη τοῦ νομ Neumann ἀφηρημένη καὶ λαμπρή, εἶναι πάρα πολὺ ἐντυπωσιακὴ. Ἐπὶ μακρὸν τὴ θεώρησα ἀκαταμάχητη. Θὰ πῶ ἀμέσως γιατί σήμερα ἀμφιβάλλω γιὰ τὴν ἀξία της.

Ἀπὸ 25 χρόνια περίπου, τὸ σύνολο σχεδὸν τῶν φυσικῶν ἔχει προσχωρήσει στὴν καθαρὰ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία τῶν Bohr καὶ Heisenberg. Ὑπάρχουν ἐν τούτοις σημαντικότες ἐξαιρέσεις, ὅπως ὁ Einstein καὶ ὁ Schrödinger, ποὺ ἀρνήθηκαν πάντα νὰ τὴν ἀποδεχθοῦν καὶ τῆς ἀντέταξαν συγκλονιστικὰς ἀντιρρήσεις. Ἦδη ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τοῦ Συνεδρίου Solvay, τὸ 1927, ὁ Einstein εἶχε διατυπώσει τὴν ἀκόλουθον ἀντίρρηση: "Ἀς θεωρήσουμε ἓνα ἐπίπεδο διάφραγμα μὲ μιὰ τρυπίτσα, στὴν ὁποία πέφτει κάθετα ἓνα σωματίο μὲ τὸ κῆμα  $\Psi$  τὸ συνδεδεμένο μαζί του. Τὸ κῆμα περιθλάται κατὰ τὴ

διόδὸ τοῦ ἀπὸ τὴν τρυπίτσα καὶ παίρνει, πίσω ἀπὸ τὸ διάφραγμα, τὴ μορφή ἐνὸς σφαιρικοῦ κύματος. Ἄν τοποθετήσουμε πίσω ἀπὸ τὸ διάφραγμα μιὰ φωτογραφικὴ πλάκα μὲ μορφή ἡμισφαιρίου, θὰ καταγράψουμε φωτογραφικὰ τὸν ἐντοπισμὸ τοῦ σωματίου σ' ἓνα σημεῖο P τοῦ ἡμισφαιρίου αὐτοῦ. Ἡ κυματομηχανὴ μᾶς διδάσκει (ὅλοι συμφωνοῦν σ' αὐτὸ τὸ σημεῖο) πῶς ἡ πιθανότητα ἐντοπισμοῦ στὸ P δίδεται ἀπὸ τὸ τετράγωνο τοῦ πλάτους τοῦ κύματος  $\Psi$  στὸ P. Ἄν σὲ κάθε στιγμὴ ὑπάρχει ἓνας ἐντοπισμὸς τοῦ σωματίου ποὺ νὰ ἐπιτρέπει νὰ ὀρίσουμε μιὰ τροχιὰ (μὲ τὴ βοήθεια λανθανουσῶν παραμέτρων), καταλαβαίνουμε πῶς ἡ ἄγνοια τῆς τροχιᾶς τοῦ σωματίου μᾶς ἐπιτρέπει νὰ καθορίσουμε μὲ πιθανότητα μόνο, τὸ ἂν ἡ τροχιὰ θὰ διέλθει ἀπὸ τοῦτο ἢ ἐκεῖνο τὸ σημεῖο. Τὸ γεγονός ὅτι τὸ σωματίο ἀσκεῖ μιὰ φωτογραφικὴ ἐπίδραση στὸ P, μᾶς διδάσκει ὅτι ἡ τροχιὰ αὐτοῦ τοῦ σωματίου διερχόταν ἀπὸ τὸ P καὶ ὅτι ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ ἔχουμε αὐτὴ τὴν πληροφορία, οἱ πιθανότητες τοῦ νὰ διέλθει ἡ τροχιὰ ἀπὸ τὰ ἄλλα σημεῖα τοῦ φιλμ ἐξαφανίζεται. Ἡ ἐξήγηση αὐτὴ εἶναι σαφέστατη. Ἐν τούτοις δὲν εἶναι καθόλου ἡ ἐξήγηση ποὺ δίνει ἡ καθαρὰ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία. Κατ' αὐτὴν, πρὶν ἀπὸ τὴν ἀποτύπωση, τὸ σωματίο βρίσκεται δυνάμει σὲ ὅλα τὰ σημεῖα πίσω ἀπὸ τὸ διάφραγμα, μὲ πιθανότητα ἴση μὲ τὸ τετράγωνο τοῦ πλάτους τοῦ κύματος  $\Psi$ . Μόλις πραγματοποιεῖται ἡ φωτογραφικὴ ἀποτύπωση στὸ P, τὸ σωματίο ἐντοπίζεται, συμπυκνώνεται θάλεγε κανεὶς στὸ σημεῖο P καὶ στιγμιαίᾳ, ἡ πιθανότητα νὰ εἶναι παρὸν σὲ κάθε ἄλλο σημεῖο τοῦ φιλμ, μηδενίζεται. Ὁ Einstein ἐν τούτοις ἰσχυριζόταν πῶς μιὰ τέτοια ἐρμηνεία εἶναι ἀσυμβίβαστη μὲ ὅλες τὶς ιδέες μας γιὰ τὸ χῶρο καὶ τὸ χρόνο (ἀκόμα κι' ἂν τοὺς παραστήσουμε μὲ τὴ μορφή τοῦ χωρόχρονου τῆς σχετικότητας) καὶ μὲ τὴν ιδέα τῆς διάδοσης τῶν φυσικῶν δράσεων στὸ χῶρο ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο καὶ μὲ καθορισμένη ταχύτητα. Καὶ δὲ θὰ ἀρκοῦσε νὰ πεῖ κανεὶς ὅτι οἱ ἐννοιες τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου ποὺ ἀντλοῦνται ἀπὸ τὴ μακροσκοπικὴ ἐμπειρία μποροῦν νὰ εἶναι ἀνεπαρκεῖς στὴν ἀτομικὴ κλίμακα. Πράγματι, τὸ φιλμ ἔχει μακροσκοπικὲς διαστάσεις (μπορεῖ νὰ ἔχει ἐ-



πιφάνεια ἐνὸς τετραγωνικοῦ μέτρου). Ἔτσι θὰ ἐπρόκειτο πιά γιὰ ἀνεπάρκεια τῶν ἐννοιῶν τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου, ἀκόμα καὶ σὲ μακροσκοπικὴ κλίμακα, πράγμα πού στ' ἀλήθεια εἶναι δύσκολο νὰ τὸ δεχτεῖ κανεὶς. Στὴν ἀντίρρηση αὐτὴ τοῦ Ἀϊνστάϊν, πού ἀπ' ὅ,τι γνωρίζω δὲν δόθηκε ἱκανοποιητικὴ ἀπάντηση, προστέθηκαν ἀργότερα κι' ἄλλες ἀπὸ τὸν Schrödinger καὶ τὸν Einstein, ἀναφερόμενες στὰ φαινόμενα ἀλληλεπιδράσεων καὶ τὶς «συναρτημένες» («*corrélées*») καταστάσεις πού προκύπτουν. Δὲν μπορῶ νὰ ἐκθέσω ἐδῶ αὐτὰ τὰ ἐπιχειρήματα. Θὰ πῶ μονάχα ὅτι ὅπως τὰ ἐπιχειρήματα τοῦ Einstein, τὸ 1927, ὀδηγοῦν σὲ παράδοξα συμπεράσματα, θέτοντας ἰδιαίτερα σὲ ἀμφισβήτηση, ἀκόμα καὶ σὲ μακροσκοπικὴ κλίμακα, τὶς παλαιᾶς ἐννοιες τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου. Φυσικὰ ὁ Bohr ἀπήντησε στὶς κριτικὲς πού τοῦ ἔγιναν γιὰ τὸν τρόπο πού βλέπει, τὰ πράγματα, μὲ σκέψεις λεπτεπίλεπτες καὶ ἐνδιαφέρουσες. Ὡστόσο οἱ ἀπαντήσεις του περιβάλλονται κάπως ἀπ' αὐτὸ τὸ ἡμίφως γιὰ τὸ ὁποῖο μίλησα καὶ γι' αὐτὸ τὸ λόγο μποροῦν νὰ μὴ φανοῦν ὁλότελα πειστικέες.

Τὰ πράγματα θρυσκόταν ἐδῶ, κάπως σταθεροποιημένα ἐπὶ ἓνα τέταρτο τοῦ αἰῶνα, ὅταν πρὶν ἀπὸ λίγους μῆνες δημοσιεύτηκε τὸ ἄρθρο τοῦ Bohm γιὰ τὸ ὁποῖο μίλησα στὴν ἀρχή. Τὸ ἄρθρο αὐτὸ δὲν περιέχει τίποτα οὐσιαστικὰ νέο. Ἀπλῶς ξαναπαίρνει τὴ θεωρία τοῦ κύματος - πιλότου πού εἶχα ἐκθέσει στὸ Συνέδριο Solvay, θεωρία πού κάγοντας νὰ ὑπεισέρχεται μόνο τὸ κύμα πιθανότητας  $\Psi$  καὶ ὅχι τὸ κύμα μὲ ἰδιομορφία (*singularité*) u. πού εἰσῆχθη ἀπὸ τὴν ὑπόθεση τῆς διπλῆς λύσης, μοῦ φαινόταν πάντα ὅτι προσέκρουε σὲ ἀνυπέρβλητες δυσκολίες. Ἐν τούτοις, ἐκτὸς ἀπὸ τὴν τιμὴ ὅτι ξαναπρόσεξε αὐτὰ τὰ προβλήματα, στὸν Bohm ἀνήκει καὶ ἡ τιμὴ ὅτι ἔκαμε ἓναν ἀριθμὸ ἀπὸ ἐνδιαφέρουσες παρατηρήσεις καὶ ἰδιαίτερα ὅτι ἔκαμε μιὰ ἀνάλυση τῶν διεργασιῶν τῆς μέτρησης, θεωρουμένων ἀπὸ τὴν ἀποψη τοῦ κύματος - πιλότου, ἀνάλυση, πού φαίνεται ὅτι ἐπιτρέπει νὰ ἀρθοῦν οἱ ἀντιρρήσεις πού ἀντέταξε στὶς ἰδέες μου ὁ Pauli τὸ 1927. Μόλις γνώρισα τὸ κείμενο τοῦ Bohm καὶ τὶς ἰδέες τοῦ

Vigier στὶς ὁποῖες θὰ ἀναφερθῶ ἀμέσως παρακάτω, συνόψισα τὶς παρατηρήσεις μου πάνω στὸ θέμα τους, σὲ δυὸ κείμενα τῶν Πρακτικῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν τὸ Σεπτέμβριο τοῦ 1951 καὶ τὸν Ἰανουάριο τοῦ 1952. Τὸ ἓνα ἀπὸ τὰ σημεῖα πού τράβηξαν τὴν προσοχή μου, εἶναι τὸ ἐπόμενο: ἡ ἀπόδειξη τοῦ von Neumann ἰσχυρίζεται ὅτι ἀποκλείει κάθε ἐρμηνεία τῆς κατανομῆς τῶν πιθανοτήτων στὴν Κυματομηχανικὴ ἀπὸ μιὰ αἰτιατὴ θεωρία μὲ λανθάνουσες παραμέτρους. Ἐν τούτοις, οἱ θεωρίες τῆς διπλῆς λύσης καὶ τοῦ κύματος - πιλότου, ἔστω καὶ ἂν δὲν μποροῦν νὰ θεωρηθοῦν σὰν ἀποδεδειγμένες, ὑπάρχουν, καὶ μπορεῖ νὰ ἀναρωτηθεῖ κανεὶς, κατὰ πόσον ἡ ὑπαρξὴ τους εἶναι δυνατόν νὰ συμβιβασθεῖ μὲ τὸ θεώρημα τοῦ von Neumann. Ἡ παρατήρηση αὐτὴ μὲ ὀδήγησε νὰ ἐπανεξετάσω τὴν ἀπόδειξη τοῦ θεωρήματος. Ἀντιλήφθηκα τότε ὅτι ἡ ἀπόδειξη στηριζόταν οὐσιαστικὰ στὸ ἀκόλουθο ἀξίωμα: ὅλες οἱ κατανομές τῶν πιθανοτήτων πού δέχεται ἡ Κυματομηχανικὴ, ἔχουν φυσικὴ ὑπόσταση προ τοῦ πραγματοποιηθεῖ τὸ πείραμα πού θέτει σὲ κίνηση μιὰ ἀπ' αὐτὲς τὶς κατανομές. Ἔτσι οἱ κατανομές τῶν πιθανοτήτων πού συνάγονται ἀπὸ τὴ γνώση τοῦ κύματος καὶ πού ἀναφέρονται στὴ θέση καὶ στὴν κινητικὴ του κατάσταση, ὑπῆρχαν πρὶν ἀπὸ τὶς μετρήσεις πού μποροῦν νὰ ἐπιτρέψουν νὰ γνωρίσουμε ἐπακριβῶς τὴ θέση ἢ τὴν κινητικὴ κατάσταση. Ὡστόσο μπορεῖ κανεὶς ἀντίστροφα νὰ δεχτεῖ (κι' αὐτὸ θρυσκεται σὲ πλήρη συμφωνία μὲ τὸν οὐσιαστικὸ ρόλο πού ὅλοι οἱ κβαντικοὶ φυσικοὶ ἀποδίδουν σήμερα στὴν πράξη τῆς μέτρησης), πῶς οἱ κατανομές αὐτὲς τῆς πιθανότητας, ἢ τουλάχιστον μερικὲς ἀπ' αὐτὲς μποροῦν νὰ δημιουργοῦνται ἀπὸ τὴν ἐκτέλεση τῆς μέτρησης καὶ νὰ μὴν ὑπάρχουν παρὰ ὅταν ἔχει ἐκτελεσθεῖ ἡ μέτρηση, τῆς ὁποίας τὰ ἀποτελέσματα δὲν γνωρίζουμε ἀκόμα. Στὴ θεωρία τῆς διπλῆς λύσης καὶ τοῦ κύματος - πιλότου (καὶ στὸ σημεῖο αὐτὸ οἱ θεωρίες δὲν διακρίνονται) γίνεται δεκτὸ ὅτι ἡ κατανομὴ τῶν πιθανοτήτων πού σχετίζεται μὲ τὴ θέση ἢ ὁποία δίδεται ἀπὸ τὸ τετράγωνο τοῦ πλάτους τοῦ συνεχοῦς κύματος  $\Psi$ , ὑπάρχει πρὶν ἀπὸ κάθε μέτρη-



ση, αλλά ότι άλλες κατανομές πιθανοτήτων (π.χ. ή σχετική με τις ποσότητες κίνησης) δημιουργούνται από τη μέτρηση. Το αξίωμα που βρίσκεται στη βάση των συλλογισμών του von Neumann, δεν ισχύει λοιπόν γι' αυτές κι' έτσι καταρρίπτεται το συμπέρασμα αυτών των συλλογισμών. Η καθαρά πιθανοκρατική έρμηνεία δέχεται την απόλυτη ισοδυναμία όλων των κατανομών των πιθανοτήτων και γι' αυτό ο von Neumann δέχτηκε αυτή την ισοδυναμία σαν αξίωμα. Έτσι όμως απέδειξε απλώς, ότι αν δεχτεί κανείς τις βασικές έννοιες της καθαρά πιθανοκρατικής έρμηνείας, δεν μπορεί πια να ξεφύγει από την έρμηνεία αυτή. Έδω λοιπόν υπάρχει ένα είδος φαύλου κύκλου, και το θεώρημα του von Neumann δεν μου φαίνεται πια ότι έχει την ισχύ που ο ίδιος του απέδιδε στα τελευταία χρόνια.

Μετά από την προσπάθεια του Bohm, ο Jean - Pierre Vigiér που εργάζεται στο Ίνστιτούτο Henri Poincaré, είχε την εξόχως ενδιαφέρουσα ιδέα να δημιουργήσει μια προσέγγιση ανάμεσα στη θεωρία της διπλής λύσης και σ' ένα θεώρημα που είχε αποδειχθεί από τον Einstein (έπίσης το 1927, αλλά έντελως ανεξάρτητα από τις δικές μου έρευνες, γιατί τότε έκανα εργασίες πάνω στα Κβάντα χωρίς να ασχολούμαι με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, ενώ ο Einstein συγκέντρωνε την προσοχή του στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, χωρίς να ασχολείται με τα Κβάντα). Για να κατανοήσουμε το ενδιαφέρον αυτής της προσέγγισης, πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι θεωρητικοί φυσικοί είναι χωρισμένοι σε δυο κατευθύνσεις, που παρουσιάζονται ασυμβίβαστες. Από τη μια μεριά ο Αϊνστάιν και οι μαθητές του αποτελούν μια μικρή ομάδα που επιδιώκει την επέκταση των ιδεών της Σχετικότητας, προσπαθώντας να αναπτύξουν τις ιδέες της Γενικευμένης θεωρίας της Σχετικότητας. Από την άλλη, ή μεγάλη πλειοψηφία των θεωρητικών, ελκόμενοι από το ενδιαφέρον των ατομικών προβλημάτων, κάνουν προσπάθειες να προωθήσουν την κβαντική φυσική, χωρίς να ασχολούνται καθόλου με τις ιδέες της Γενικευμένης Σχετικότητας. Βεβαίως ή Κυριατομηχανική έχει λάβει ύπ' όψιν της τις αντιλήψεις της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας και επεδίωξε

να τις ενσωματώσει. Η θεωρία του ήλεκτρονίου με σπιν κατά Dirac και πιο πρόσφατα, οι ώραϊες θεωρίες των Tomonaga, Schwinger, Feynman και Dyson, έχουν χρησιμοποιήσει τις ιδέες της «συμμεταβολής» κατά τη θεωρία της σχετικότητας (covariance relativiste). Έν τούτοις πρόκειται πάντα για την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Ωστόσο είναι γνωστό ότι ή ειδική θεωρία της σχετικότητας δεν είναι αυτόρκης και ότι χρειάζεται γενίκευση, όπως έκαμε ο Einstein το 1916. Είναι λοιπόν παράδοξο το ότι οι δυο μεγάλες θεωρίες της σύγχρονης φυσικής, ή Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και ή Θεωρία των Κβάντα, δεν έχουν σήμερα καμιά έπαφή και αγνοούνται αμοιβαία. Θα πρέπει κάποια μέρα να καταλήξουμε σε μια σύνθεση.

Αφού ανέπτυξε τις μεγάλες γραμμές της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, ο Einstein ασχολήθηκε με τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να παρασταθεί ή ατομική συγκρότηση της ύλης, σαν ιδιομορφία του πεδίου βαρύτητας. Από την άλλη πλευρά, ασχολήθηκε με το ακόλουθο σημείο: στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας γίνεται δεκτό ότι ή κίνηση ενός σώματος παριστάνεται στον καμπύλο χωρόχρονο από μια γεωδειακή γραμμή. Η παραδοχή αυτή επέτρεψε στον Einstein να ξαναδρεί την κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο, εξηγώντας επί πλέον την ανά αιώνα κίνηση του περιηλίου του Έρμου. Αν όμως θελήσει κανείς να δώσει τα στοιχειώδη σωμάτια της ύλης με την ύπαρξη ιδιομορφιών στο πεδίο βαρύτητας, θα πρέπει να μπορεί να αποδείξει, ξεκινώντας μόνον από τις εξισώσεις του πεδίου βαρύτητας, ότι ή κίνηση των ιδιομορφιών πραγματοποιείται ακολουθώντας τις γεωδειακές γραμμές του χωρόχρονου, χωρίς να έχει ανάγκη να εισαγάγει αυτό το αποτέλεσμα σαν ανεξάρτητη παραδοχή. Το πρόβλημα αυτό απασχόλησε επί μακρόν τον Αϊνστάιν, που το 1927 κατόρθωσε, σε συνεργασία με τον Grommer, να αποδείξει το εν λόγω θεώρημα. Η απόδειξη αυτή επαναλήφθηκε και επεκτάθηκε μεταγενέστερα κατά διαφόρους τρόπους, από τον ίδιο τον Einstein και τους συνεργάτες του Infeld και Hoffmann. Είναι βέβαιο πως ή απόδειξη του



θεωρήματος του Einstein παρουσιάζει κάποια αναλογία με αυτήν που έκαμα το 1927 για να αποδείξω ότι ένα σωματίο πρέπει να κατευθύνει πάντα την ταχύτητά του σύμφωνα με το βαθμωτή φάσεως (gradient de phase) του κύματος  $\psi$ , του οποίου αποτελεί ιδιομορφία. Ο Vigier κάνει έντονες προσπάθειες να καθορίσει αυτή την αναλογία, επιδιώκοντας να εισαγάγει τις συναρτήσεις του κύματος  $\psi$  στον όρισμό της μετρικής του χωρόχρονου. "Αν και οι προσπάθειες αυτές δεν είναι ίσως ακόμα ολοκληρωμένα πειστικές, είναι βέβαιο ότι ο δρόμος που ακολουθεί έχει πάρα πολύ ενδιαφέρον, γιατί θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια ένοποιηση των ιδεών της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και της Κυματομηχανικής. Παριστάνοντας τα υλικά σωματίδια (καθώς και τα φωτόνια) σαν ιδιομορφίες μέσα στη μετρική του χωρόχρονου, περιβαλλόμενος από ένα κυματικό πεδίο του οποίου θα αποτελούσαν μέρος και του οποίου ο όρισμός θα εισήγαγε τη σταθερά του Planck, θα όφειλε να καταλήξει στο να ένοποιήσει τις αντιλήψεις του Einstein για τα σωματίδια με τις αντιλήψεις της θεωρίας μου της διπλής λύσης. Το μέλλον θα δείξει αν είναι πράγματι δυνατή ή μεγαλοπρεπής αυτή σύνθεση της Σχετικότητας και των Κβάντα.

"Ενα πράγμα μου φαίνεται βέβαιο: σε μια τέτοια σύνθεση θα έπρεπε να ξαναόρει κανείς και να δικαιολογήσει όλα τα αποτελέσματα, όλες τις μεθόδους υπολογισμού που χρησιμοποιούνται από την Κυματομηχανική στη σημερινή έρμηνεία της, συμπεριλαμβανομένης και της αδυναμίας να προβλέψουμε γενικά τα αποτελέσματα μιας μικροσκοπικής μέτρησης, των σχέσεων άπροσδιοριστίας του Heisenberg, της κβάντωσης των ατομικών συστημάτων, κλπ. Αλλά τότε, θα πει κανείς, γιατί να τροποποιήσουμε τη σημερινή έρμηνεία, αφού έπαρκει να περιλάβει όλα τα παρατηρήσιμα φαινόμενα; Γιατί να εισάγουμε όλες αυτές τις άχρηστες περιπλοκές της διπλής λύσης, της λύσης σαν ιδιομορφίας, κλπ., κινδυνεύοντας επίσης να πλανηθούμε σε άδιεξόδους;

Σ' αυτό θα μπορούσε κανείς να απαντήσει κατ' αρχήν, ότι η έπιστροφή σε έννοιες σαφείς, καρτεσιανές, σεβόμενες

την ισχύ των πλαισίων του χώρου και του χρόνου, θα ίκανοποιούσε άσφαλώς πολλά πνεύματα και θα επέτρεπε όχι μονάχα να άρθουν οι συνταρακτικές αντιρρήσεις του Einstein και του Schrödinger, αλλά και να άποφευχθούν κάποιες παράδοξες συνέπειες της τωρινής έρμηνείας. Πράγματι, η έρμηνεία αυτή, επιδιώκοντας να περιγράψει τα κβαντικά φαινόμενα άποκλειστικά και μόνο με τη βοήθεια της συνεχούς συναρτήσεως  $\Psi$ , της όποιας ο στατιστικός χαρακτήρας είναι βέβαιος, καταλήγει λογικά σ' ένα είδος «υποκειμενισμού», συγγενικού με τον ιδεαλισμό όπως τον έννοούν οι φιλόσοφοι και τείνει να άρνηθεί την ύπαρξη μιας φυσικής πραγματικότητας ανεξάρτητης από τον παρατηρητή. Όστόσο ο φυσικός ένστικτωδώς παραμένει, όπως πρόσφατα υπεγράμμισε έντονα ο Meyerson, ένας «ρεαλιστής» και ως προς αυτό έχει άρκετους λόγους. Οι υποκειμενιστικές έρμηνείες θα του προκαλούν πάντα δυσφορία και νομίζω πως τελικά θάταν εύτυχής να άπαλλασσόταν απ' αυτές.

Όστόσο μπορεί κανείς να σκεφτεί μαζί με τον Bohm, πως αν η τωρινή έρμηνεία έπαρκει για την πρόβλεψη των φαινομένων ατομικής κλίμακας, δε θα μπορούσε να συμβαίνει το ίδιο στην κλίμακα του πυρήνα, όπου οι ιδιαίτερες ζώνες των διαφόρων σωματίων θα μπορούσαν να μην έχουν άυστηρά όρια και τα σωματίδια να μην μπορούν πια να θεωρηθούν σαν άπομονωμένα. Πρέπει να όμολογήσουμε πως επί του παρόντος η θεωρία των πυρηνικών φαινομένων και ιδιαίτερα των δυνάμεων που διατηρούν τη σταθερότητα του πυρήνα, βρίσκει σε μια κατάσταση έλάχιστα ίκανοποιητική. Κι' ακόμα, μια θεωρία των υλικών σωματίων μάς λείπει σήμερα πάρα πολύ, όταν μάλιστα σχεδόν κάθε μήνα ανακαλύπτουμε νέους τύπους μεσονίων. Φαίνεται ότι η φυσική έχει έπιτακτική ανάγκη να καθορίσει μια δομή των σωμάτων και κυρίως να εισαγάγει μια «άκτινα» του ήλεκτρονίου, όπως στην παλαιά θεωρία του Lorentz. Σ' αυτό τόσο τη δυσκολεύει πάρα πολύ η άποκλειστική χρησιμοποίηση, για την περιγραφή των σωματίων, του στατιστικού κύματος  $\Psi$ , που την έμποδίζει να χρησιμοποιήσει όποιαδήποτε εικόνα δομής αυτών των σωματίων. Μάς έπιτρέπεται να πι-



στεύουμε πώς μιὰ μεταβολή τοῦ τρόπου θεώρησης τῶν πραγμάτων, πού θά συνεπάγεται μιὰ ἐπιστροφή σὰ χωροχρονικά πρότυπα, θά βελτίωνε τήν κατάσταση: προφανῶς δὲν πρόκειται παρὰ γιὰ μιὰ ἐλπίδα, γιὰ cheque en blanc, θάλεγε ὁ Pauli. Ὡστόσο νομίζω πὼς ἡ δυνατότητα αὐτὴ δὲ θάπρεπε a priori νὰ ἀποκλεισθεῖ ὀλοκληρωτικὰ καὶ πρέπει νὰ ἀποφύγουμε τὸν κίνδυνο, μιὰ πολὺ μεγάλη πίστη στὴν τωρινὴ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς φυσικῆς, νὰ τὴν κάνει στείρα.

Τὸ ζήτημα τελικὰ εἶναι νὰ μάθουμε — ὁ Einstein τῶς συχνὰ ὑπογραμμίζει — ἂν ἡ τωρινὴ ἐρμηνεία, πού χρησιμοποιεῖ ἀποκλειστικὰ τὸ κύμα  $\Psi$  στατιστικοῦ χαρακτῆρα, ἀποτελεῖ μιὰ «πλήρη» περιγραφή τῆς πραγματικότητας, ὅποτε ὀφείλουμε νὰ δεχτοῦμε τὸν ἰντετερμινισμὸ καὶ τὴν ἀδυναμία νὰ παραστήσουμε τὴν πραγματικότητα τῆς ἀτομικῆς κλίμακας μὲ τρόπο ἀκριβῆ, μέσα σὰ πλαίσια τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου, ἢ ἀντίθετα, ἂν ἡ ἐρμηνεία αὐτὴ δὲν εἶναι πλήρης καὶ κρύβει πίσω της, ὅπως οἱ παλαιὲς στατιστικὲς θεωρίες τῆς κλασσικῆς φυσικῆς, μιὰ πραγματικότητά τέλεια αἰτιοκρατημένη καὶ περιγράψιμη μέσα σὰ πλαίσια τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου μὲ τὴ βοήθεια λανθανουσῶν μεταβλητῶν, δηλαδὴ μεταβλητῶν πού θά ξέφευγαν ἀπὸ τοὺς πειραματικοὺς προσδιορισμούς μας. Ἄν ἡ δεύτερη ὑπόθεση ἀποδειχθεῖ καρποφόρα, μοῦ φαίνεται πὼς θάπρεπε νὰ πάρει τὴ μορφή μιᾶς θεωρίας διπλῆς λύσης, λίγο-πολὺ βελτιωμένης καὶ ἀναμφισβήτητα συνδεδεμένης μὲ τὴ Γενικὴ Θεωρία τῆς Σχετικότητας. Ὡστόσο δὲν ἄγνοῶ (καὶ μιὰ πρόσφατη ἐπισκόπηση τοῦ ὅλου προβλήματος μοῦ τὸ φανέρωσε ξανά), σὲ τί τεράστιες, ἂν ὄχι ἀνυπέρβλητες δυσκολίες θά σκοντάψει μιὰ τέτοια προσπάθεια καὶ τί δύσκολες μαθηματικὲς δεδαιώσεις θά χρειάζονται γιὰ τὴν ἐδραίωσή της. Ἄν ἡ προσπάθεια ἀποδεικνυόταν ἀπραγματοποίητη, τότε θάπρεπε νὰ ἐπιστρέψουμε στὴν καθαρὰ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία. Ὡστόσο σήμερα δὲν μοῦ φαίνεται περιττὴ μιὰ νέα ἐξέταση τοῦ προβλήματος.

Ἀναμφίβολα, βλέποντάς με νὰ ἐγκαταλείπω τίς πρῶτες μου προσπάθειες καὶ

νὰ ἐκθέτω σ' ὅλα μου τὰ κείμενα ἀπὸ 25 χρόνια τὴν ἐρμηνεία τῶν Bohr καὶ Heisenberg, μερικοὶ θά μὲ κατηγορήσουν ἴσως γιὰ ἀσυνέπεια, βλέποντάς με πάλι νὰ αἰσθάνομαι κάποιες νέες ἀμφιβολίες γι' αὐτὸ τὸ θέμα καὶ νὰ διερωτῶμαι μήπως ὁ πρῶτος μου προσανατολισμὸς δὲν εἶναι ὁ ὀρθός. Πάνω σ' αὐτό, ἂν θάθελα νὰ ἀστείευτῶ, θά μπορούσα ν' ἀπαντήσω μαζί μὲ τὸ Βολταῖρο: «Ὁ ἀνόητος ἄνθρωπος εἶναι κεῖνος πού δὲν ἀλλάζει».

Ἐν τούτοις εἶναι δυνατὴ μιὰ σοβαρότερη ἀπάντηση. Ἡ ἱστορία τῶν ἐπιστημῶν φανερώνει πὼς ἡ ἐπιστημονικὴ πρόοδος παρεμποδίστηκε σταθερὰ ἀπὸ τὴν τυρανικὴ ἐπίδραση μερικῶν ἀντιλήψεων τίς ὁποῖες κατέληγαν νὰ θεωροῦν σὰ δόγμα. Γι' αὐτὸ τὸ λόγο ἀρμόζει νὰ θέτουμε περιοδικὰ σὲ βαθειὰ ἐξέταση, τίς ἀρχές πού εἴχαμε καταλήξει νὰ δεχόμαστε ἀσυζήτητα. Ἡ καθαρὰ πιθανοκρατικὴ ἐρμηνεία τῆς Κυματομηχανικῆς πρόσφερε ἀναμφισβήτητα ὑπηρεσίες στοὺς φυσικοὺς ἐπὶ ἓνα τέταρτο τοῦ αἰῶνα, γιατί τοὺς ἐμπόδισε νὰ βουλιάξουν στὴ μελέτη δύσκολων καὶ δισεπίλυτων προβλημάτων, ὅπως αὐτὰ πού θέτει ἡ ἔννοια τῆς διπλῆς λύσης, κι' ἔτσι τοὺς ἐπέτρεψε νὰ προχωρήσουν ἀποφασιστικὰ στὸ δρόμο τῶν ἐφαρμογῶν, πού ἦταν πολυάριθμες καὶ καρποφόρες. Ἐν τούτοις σήμερα ἡ ἐρμηνευτικὴ δύναμη τῆς κυματομηχανικῆς, τέτοιας ὅπως διδάσκεται, φαίνεται κατὰ μέγα μέρος ἐξαντλημένη. Αὐτὸ τὸ ἀναγνωρίζουν ὅλοι. Οἱ ἴδιοι οἱ ὁπαδοὶ τῆς πιθανοκρατικῆς ἐρμηνείας ἐπιδιώκουν — χωρὶς πολὺ ἐπιτυχία προφανῶς — νὰ εἰσαγάγουν νέες ἀντιλήψεις, πιὸ ἀφηρημένες καὶ ἀποσπασμένες ἀπὸ τὰ κλασσικὰ πρότυπα, ὅπως οἱ μῆτρες  $S$ , τὰ ἐλάχιστα μήκη, κλπ. Χωρὶς νὰ ἀρνεῖται τὸ ἐνδιαφέρον αὐτῶν τῶν προσπαθειῶν, μπορεῖ κανεὶς νὰ ἀναρωτηθεῖ μήπως θάπρεπε νὰ προσανατολισθοῦμε πρὸς μιὰ ἐπιστροφή στὴ σαφήνεια τῶν χωροχρονικῶν παραστάσεων. Ἐν πάσει περιπτώσει, εἶναι ἀναμφισβήτητα χρήσιμο νὰ ἀντιμετωπίσουμε πάλι τὸ δυσκολότατο πρόβλημα τῆς ἐρμηνείας τῆς κυματομηχανικῆς, γιὰ νὰ δοῦμε ἂν αὐτὸ πού σήμερα θεωρεῖται ὀρθόδοξο, εἶναι πράγματι τὸ μόνον πού μπορεῖ κανεὶς

Μετάφραση: E. I. M.