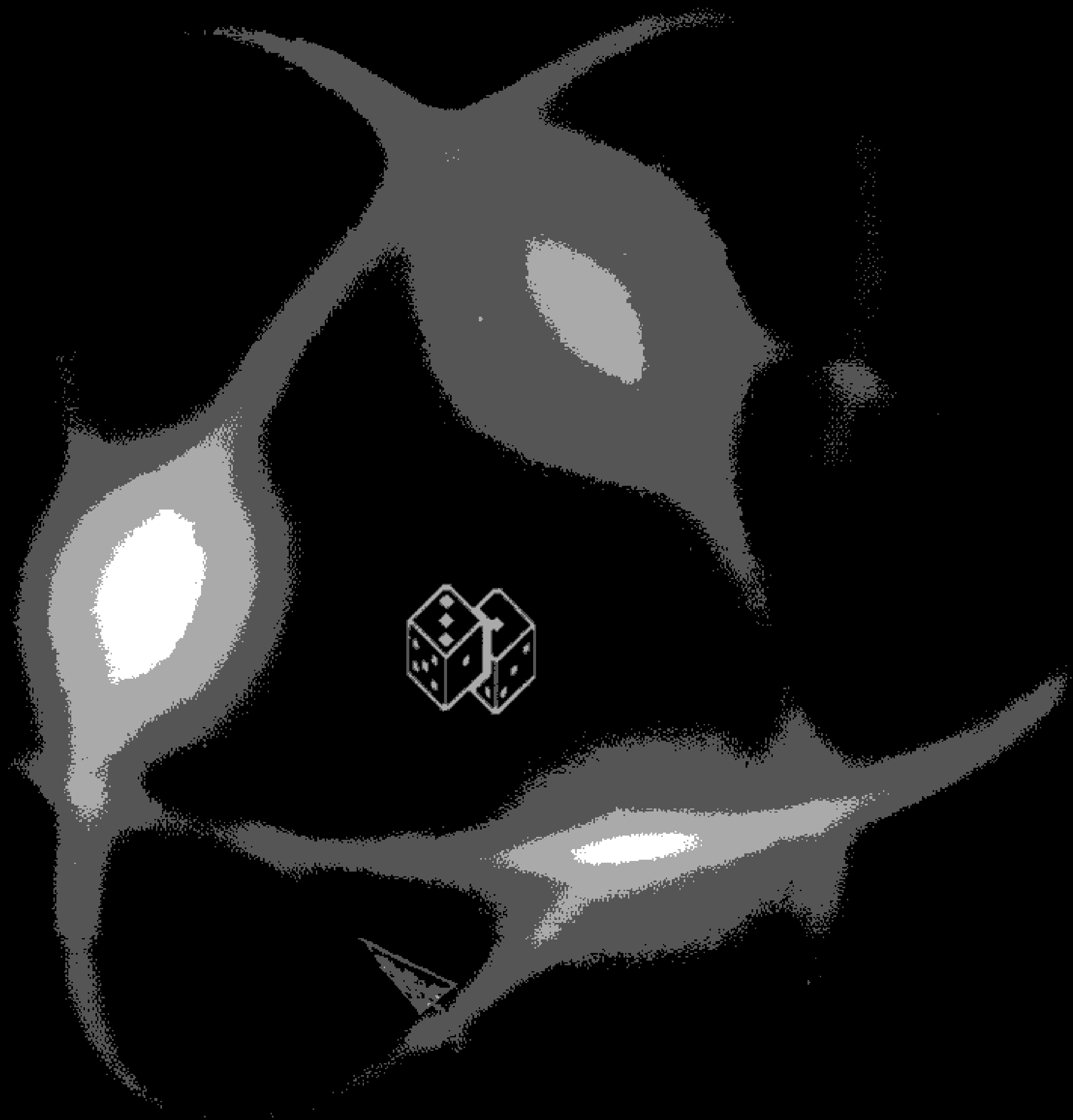


David Bohm

Αιτιότητα και Τύχη
στη
Μοντέρνα Φυσική

Προλογίζει ο Louis de Broglie



Λέξημα

CA. 94. 1. 3230

ΣΤΕΦ

Σταυρούλης

ΑΙΤΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ
ΣΤΗ
ΜΟΝΤΕΡΝΑ ΦΥΣΙΚΗ

Τίτλος πρωτοτύπου: *Causality and Chance in Modern Physics*:

© Routledge & Kegan Paul Ltd.

Για την ελληνική γλώσσα:

© Εκδόσεις Λέξημα, Α. Τσουκαλαδάκης

Λεωφ. Αλεξάνδρας 35, Αθήνα Τ.Κ. 11473, Τηλ. / Fax 6448275

Πρώτη έκδοση: 1996

ISBN: 960-7578-00-7

Γλωσσική επιμέλεια: Πόπη Βουτσινά

Εξώφυλλο: Πέτρος Αδαμόπουλος

Εκτύπωση: ΕΚΤΥΠΟΝ ΕΠΕ

Κεντρική διάθεση:

Τροχαλία, Γριβαίων 5, Τ.Κ. 106 80, Αθήνα

Τηλ. 3646426, Fax 3621932

530.1
BOHM

Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
αρ. εισ. 34578

DAVID BOHM

ΑΙΤΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ
ΣΤΗ
ΜΟΝΤΕΡΝΑ ΦΥΣΙΚΗ

Πρόλογος: LOUIS DE BROGLIE

Μετάφραση: Γιώργος Σαββόπουλος

Έργο Ενίσχυση και εκτύπωση
του Α. Β. Βοήμ για το θέμα
1. 3. 5. 1978

Η συλλογή της Β. Β. Βοήμ αποτελεί δωρεάν
ταίρια στην ερευνητική ομάδα του Ι. Ι. Β. Βοήμ
για το 70% του κόστους της έκδοσης.

Λέξημα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγικό σημείωμα στη Δεύτερη έκδοση	11
Πρόλογος του Louis de Broglie	17

I. ΑΙΤΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΝΟΜΟ

1. Εισαγωγή	21
2. Η αιτιότητα στις φυσικές διαδικασίες	25
3. Απλή σύνδεση και αιτιακή σύνδεση	27
4. Σημαντικές αιτίες σε δεδομένο πλαίσιο	30
5. Γενικότερα κριτήρια για τις αιτιακές σχέσεις	34
6. Αιτιακοί νόμοι και οι ιδιότητες των πραγμάτων	37
7. Αιτιακές σχέσεις ένα-προς-πολλά και πολλά-προς-ένα	41
8. «Σύμπτωση», τύχη και στατιστικός νόμος	47
9. Η θεωρία των πιθανοτήτων	54
10. Γενικές θεωρήσεις για τους νόμους της Φύσης	58
11. Συμπέρασμα	64

II. ΑΙΤΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ ΣΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ: Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

1. Εισαγωγή	65
2. Κλασική μηχανική	66
3. Η φιλοσοφία του μηχανισμού	68
4. Πρόοδοι στην κλασική φυσική πέρα από το μηχανισμό	72
5. Κυματική θεωρία του φωτός	73
6. Θεωρία πεδίου	75
7. Για τη φύση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου	77
8. Θεωρίες πεδίου και μηχανισμός	79
9. Η μοριακή θεωρία της θερμότητας και η κινητική θεωρία των αερίων	82
10. Η σχέση μικροσκοπικού και μακροσκοπικού επιπέδου σύμφωνα με τη μοριακή θεωρία	85
11. Ποιοτικές και ποσοτικές μεταβολές	89

12. Τύχη, στατιστικός νόμος και πιθανότητα στη φυσική	92
13. Ο εμπλουτισμός της εννοιολογικής δομής της κλασικής φυσικής και η φιλοσοφία του μηχανισμού	94
14. Νέα θεώρηση των πιθανοτήτων και του στατιστικού νόμου: Ιντετερμινιστικός μηχανισμός	102
15. Περίληψη του μηχανισμού	107

III. Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

1. Εισαγωγή	111
2. Η προέλευση της κβαντικής θεωρίας	114
3. Το πρόβλημα να βρεθεί μια αιτιακή ερμηνεία για την κβαντική θεωρία	126
4. Η αρχή της απροσδιοριστίας	129
5. Η αρχή της απροσδιοριστίας συνεπάγεται την απόρριψη της αιτιότητας στην ατομική περιοχή	132
6. Εγκατάλειψη της συνέχειας στην ατομική περιοχή	139
7. Απόρριψη των καθιερωμένων εννοιολογικών μοντέλων για το μικρόκοσμο – Η αρχή της συμπληρωματικότητας	142
8. Κριτική των συμπερασμάτων που συνάγονται, με βάση την αρχή της απροσδιοριστίας, από τη συνήθη ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας	145
9. Η συνήθης ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας: μια μορφή ιντετερμινιστικού μηχανισμού	155

IV. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Εισαγωγή	159
2. Γενικές θεωρήσεις για το υποκβαντομηχανικό επίπεδο	161
3. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση των προτεινόμενων εναλλακτικών ερμηνειών της κβαντικής θεωρίας	166
4. Ένα ειδικό παράδειγμα για μια εναλλακτική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας	168
5. Κριτική στη νέα ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας	176
6. Περαιτέρω ανάπτυξη της θεωρίας	177
7. Η σύγχρονη κρίση στη φυσική του μικρόκοσμου	182
8. Πλεονεκτήματα από τη νέα ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας στην καθοδήγηση της έρευνας σε νέες περιοχές	185

9. Εναλλακτική ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας και της φιλοσοφίας του μηχανισμού	188
Βιβλιογραφία	191

V. ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΝΟΜΟΥ

1. Εισαγωγή	193
2. Περίληψη των ουσιαστών χαρακτηριστικών της μηχανιστικής φιλοσοφίας	194
3. Κριτική στη φιλοσοφία του μηχανισμού	195
4. Μια άποψη πέρα από τη μηχανιστική φιλοσοφία	196
5. Πιο λεπτομερής παρουσίαση της σημασίας της ποιοτικής απειρίας της Φύσης	202
6. Τύχη και αναγκαίες αιτιακές σχέσεις	207
7. Αμοιβαίες σχέσεις και ο προσεγγιστικός χαρακτήρας της αυτόνομης ύπαρξης των πραγμάτων	211
8. Η διαδικασία του γίνεσθαι	215
9. Ο αφηρημένος εννοιολογικός χαρακτήρας των οριστικών και αναλλοίωτων τρόπων ύπαρξης	223
10. Γιατί ο ντετερμινισμός του Laplace είναι ανεπαρκής	230
11. Αντιστρεπτοί και μη αντιστρεπτοί νόμοι της Φύσης	233
12. Απόλυτη και σχετική αλήθεια: Η φύση της αντικειμενικής πραγματικότητας	238
Ευρετήριο ονομάτων	249

Εισαγωγικό σημείωμα στη Δεύτερη έκδοση

ΕΧΟΥΝ ΠΕΡΑΣΕΙ περισσότερα από είκοσι πέντε χρόνια από την πρώτη έκδοση αυτού του βιβλίου, και μου ζήτησαν να γράψω ένα σύντομο εισαγωγικό σημείωμα για να συνοψίσω και να αξιολογήσω ό,τι έχει προκύψει από τις ιδέες που παρουσιάζονται εδώ.

Το βιβλίο αρχίζει με περιγραφή της αιτιότητας και της τύχης στο φυσικό νόμο εν γένει, ακολουθεί δε λεπτομερής εξήγηση του τρόπου με τον οποίο εκδηλώνονται αυτές οι έννοιες στην κλασική φυσική. Κατά την ανάπτυξη της κλασικής φυσικής, ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός ήταν η ανάπτυξη της ιδέας ότι το Σύμπαν μπορεί να παραλληλιστεί με ένα γιγάντιο μηχανισμό. Εντούτοις, όπως αποκαλύπτεται στο βιβλίο, οι πρόσφατες πρόοδοι στη φυσική, ιδιαίτερα η σχετικότητα και η κβαντική θεωρία, δεν μπορεί να ενταχθούν σε μια τέτοια μηχανιστική φιλοσοφία. Αντίθετα, υποδεικνύουν σαφώς την ανάγκη για μια ριζικά νέα ολική προσέγγιση, η οποία θα υπερβαίνει την έννοια του μηχανισμού. Η συνήθης ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας δεν προσφέρει σαφή ιδέα για την εμφάνιση αυτής της αλλαγής, επειδή λειτουργεί αποκλειστικά ως μαθηματικός αλγόριθμος — ένα σύνολο κανόνων με τους οποίους το μόνο που μπορούμε να υπολογίσουμε είναι τα πιθανά αποτελέ-

σματα ενός στατιστικού συνόλου παρόμοιων μετρήσεων. Στο Κεφάλαιο IV, παρουσιάζεται μια εναλλακτική ερμηνεία, σύμφωνα με την οποία το ηλεκτρόνιο (για παράδειγμα) θεωρείται σωματίδιο που συνοδεύεται πάντοτε από ένα νέο είδος κυματικού πεδίου. Αν και αυτή η ερμηνεία στη μορφή που πρωτοδιατυπώθηκε κάνει τις ίδιες προβλέψεις με τη συνήθη ερμηνεία για όλα τα πειραματικά αποτελέσματα, προσφέρει νέες ιδέες για το φυσικό νόημα της κβαντικής θεωρίας και αποκαλύπτει με εκπληκτικό τρόπο πόσο έχει πραγματικά απομακρυνθεί αυτή η θεωρία από τις μηχανιστικές έννοιες στις οποίες βασίζεται η κλασική φυσική.

Η ερμηνεία με βάση τα σωματίδια και τα πεδία αποσκοπούσε στην προσωρινή μόνο κατανόηση της κβαντικής θεωρίας που θα αποτελούσε την αφετηρία για πολλούς νέους τρόπους επέκτασης της θεωρίας. Οι μεταγενέστερες εξελίξεις δικαίωσαν το στόχο της; Κατά τη γνώμη μου, αυτή η συλλογιστική πρόσφερε πολλά, ειδικότερα όσον αφορά την ανάπτυξη νέων τρόπων σκέψης για τη σχέση του όλου προς τα μέρη.

Το πρώτο σημαντικό βήμα σ' αυτή την πορεία ήταν η λεπτομερειακή μελέτη όσων συνεπάγεται η προτεινόμενη νέα ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, αρχίζοντας με το σύστημα ενός σώματος¹ και προχωρώντας στο σύστημα πολλών σωμάτων^{2,3}. Από αυτές τις μελέτες, ειδικά όσες περιλαμβάνουν τον υπολογισμό λεπτομερών τροχιών, έγινε σαφές ότι ακόμα και το σύστημα ενός σώματος έχει ένα βασικά μη μηχανικό γνώρισμα, υπό την έννοια ότι το ίδιο και το περιβάλλον του πρέπει να θεωρηθούν *αδιαίρετη ολότητα*, στην οποία η συνήθης κλασική ανάλυση σε σύστημα συν περιβάλλον, που θεωρείται ξεχωριστό και εξωτερικό, δεν μπορεί να εφαρμοστεί πλέον. Αυτή η ολότητα γίνεται πιο εμφανής σε ένα σύστημα πολλών σωμάτων όπου, γενικά, υπάρχει μη τοπική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε όλα τα συστατικά τους σωματίδια, η οποία δεν είναι αναγκαίο να μειώνεται όταν τα σωματίδια βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο. Ακόμα πιο εκπληκτικό είναι ότι οι μεταξύ τών μερών (ή υποσυνόλων) σχέσεις ενός συστήματος εξαρτώνται σημαντικά από την κατάσταση του συνόλου, έτσι ώστε δεν μπορεί να εκφραστούν με βάση μόνο τις ιδιότητες των μερών⁴. Πράγματι, τα μέρη οργανώνονται κατά τρόπο που απορρέει από την ολότητα.

Έτσι, η συνήθης μηχανιστική έννοια, ότι η οργάνωση και όλη η συμπεριφορά μιας ολότητας προέρχεται αποκλειστικά από τα μέρη και τις προκαθορισμένες μεταξύ τους σχέσεις, χάνει το νόημά της.

Στο συνηθισμένο επίπεδο της εμπειρίας, όπως και της κλασικής φυσικής, ο νόμος για την ολότητα υποδηλώνει ότι η ολότητα διαιρείται προσεγγιστικά σε σχετικά ανεξάρτητα υποσύνολα που λίγο ή πολύ αλληλεπιδρούν εξωτερικά και μηχανικά. Εντούτοις, σε μια πιο ακριβή και θεμελιώδη περιγραφή, η κβαντική ολότητα και η μη τοπικότητα φαίνεται πως είναι οι κύριοι παράγοντες. Αυτό αποκαλύπτεται ειδικά στο πείραμα των Einstein, Podolsky και Rosen, το οποίο τονίζει με σαφή τρόπο τα παραπάνω γνωρίσματα. Έγιναν ποικίλες βελτιώσεις και τροποποιήσεις στο πείραμα EPR, και με τη βοήθεια της γνωστής Ανισότητας Bell η μη τοπικότητα ελέγχθηκε με ακρίβεια. Διάφορα πειράματα, τα οποία οδήγησαν στο πρόσφατο πείραμα του Aspect⁵, επιβεβαιώνουν κατηγορηματικά τις προβλέψεις της κβαντικής θεωρίας και δείχνουν ότι οι κλασικές έννοιες της τοπικότητας και αναλυσιμότητας έχουν καταρρεύσει. Η νέα ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας παρέχει σαφή και απλή, διαισθητικά κατανοητή εξήγηση του τρόπου με τον οποίο ένα κβαντικό σύστημα μπορεί να αποτελεί αδιαίρετη ολότητα, όπου ενδέχεται να συμβαίνουν μη τοπικές συνδέσεις του τύπου που αναφέραμε παραπάνω.

Ποιοτικές ιδιότητες όπως η αδιαίρετη ολότητα και η μη τοπικότητα μας βοηθούν επίσης να κατανοήσουμε ένα άλλο παράδοξο της κβαντικής θεωρίας: την «κατάρρευση της κυματοσυνάρτησης», η οποία, σύμφωνα με τη συνήθη ερμηνεία, συμβαίνει κατά τις μετρήσεις⁶. Εφαρμόζοντας την παραπάνω ερμηνεία σε μια διαδικασία μέτρησης, διαπιστώνουμε ότι δεν απαιτείται καμία τέτοια «κατάρρευση». Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε το Σύμπαν ως μοναδική και ανεξάρτητη πραγματικότητα, η οποία περιλαμβάνει τον παρατηρητή και το παρατηρούμενο. Επιπλέον, μπορούμε να δούμε από νέα οπτική γωνία το ερώτημα: Το Σύμπαν είναι εντελώς ντετερμινιστικό ή όχι; Κάθε αντικείμενο, γεγονός, διαδικασία κτλ. μπορεί κατ' αρχήν να προσδιοριστεί, αλλά ο προσδιορισμός βασίζεται τελικά στην αδιαίρετη ολότητα του ίδιου του Σύνπαντος. Στην πραγματικότητα το Σύμπαν αυτοπροσδιορίζεται. Ωστόσο,

υπάρχει ο αντίλογος ότι, σύμφωνα με τις σχέσεις που θα μπορούσαν να προκαθοριστούν ξεχωριστά από την κατάσταση της ολότητας, για τα μέρη δεν υφίσταται μηχανιστικός ντετερμινισμός.

Πράγματι, αν επεκτείνουμε την παραπάνω ερμηνεία στις θεωρίες πεδίου⁷, όχι μόνο οι σχέσεις ανάμεσα στα μέρη αλλά και η ίδια η ύπαρξή τους φαίνεται να απορρέει από το νόμο για την ολότητα. Συνεπώς, δεν διατηρείται τίποτε από το κλασικό σχήμα, στο οποίο η ολότητα προκύπτει από προϋπάρχοντα μέρη που σχετίζονται με προκαθορισμένο τρόπο. Αυτό μας φέρνει στο νου τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα μέρη ενός οργανισμού και σε ολόκληρο τον οργανισμό, όπου κάθε όργανο αναπτύσσεται και διατηρείται με τρόπο που εξαρτάται σημαντικά από τον πλήρη οργανισμό.

Πρόσθετη πρόοδος που διευρύνει περισσότερο την έννοια της ολότητας είναι η εισαγωγή της έννοιας της πεπλεγμένης (ή αναδιπλωμένης) τάξης⁸. (Για να πάρουμε κάποια ιδέα της «αναδίπλωσης», μπορούμε να παρατηρήσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα σημεία επαφής που σχηματίζονται σε ένα διπλωμένο φύλλο χαρτί περιέχουν τις ουσιώδεις σχέσεις του συνολικού σχεδίου που αποκαλύπτεται όταν ξεδιπλώνουμε το φύλλο.) Έτσι, όλα τα αντικείμενα, οντότητες, μορφές κτλ. της συνήθους εμπειρίας θεωρούνται «αναδιπλωμένα» στο συνολικό πεδίο, και δημιουργούνται, διατηρούνται και τελικά εξαφανίζονται με μια σταθερή κίνηση αναπτύγματος και αναδίπλωσης. Με αυτό τον τρόπο, κάθε στοιχείο σχετίζεται εσωτερικά με την ολότητα, υπό την έννοια ότι η ολότητα αναδιπλώνεται ενεργά σ' αυτό. Με άλλα λόγια, η δυναμική δραστηριότητα (εσωτερική και εξωτερική), που είναι θεμελιώδης για το *είναι* κάθε μέρους, βασίζεται στην αναδίπλωση σ' αυτό ολόκληρου του Σύμπαντος – και επομένως όλων των άλλων μερών. Έτσι μπορούμε να κατανοήσουμε σε βάθος την αδιαίρετη ολότητα του Σύμπαντος, που καθιστά εφικτή την περαιτέρω εμβάθυνση στο Σύμπαν αυτής της ολότητας.

Η έρευνα στις παραπάνω κατευθύνσεις συνεχίζεται και σήμερα. Οι ιδιότητες του χωρόχρονου θεωρούνται αναπτύγματα από μια βαθύτερη αναδιπλωμένη δομή, στην οποία οι βασικές αρχές, η τάξη, η διάταξη, η σύνδεση και η οργάνωση διαφέρουν εντελώς από αυτές της κοινής γεωμετρίας. Για να μελετήσουμε με ακρί-

βεια τέτοιες δομές, αναπτύχθηκαν νέες μαθηματικές μορφές⁹. Αυτή η πρόοδος μας απομακρύνει ακόμα περισσότερο από τη μηχανιστική φιλοσοφία, συγκριτικά με τις εξελίξεις που περιγράψαμε παραπάνω. Πράγματι, υποδηλώνει κάτι συγγενικό με την ποιοτική απειρία της Φύσης, όπως προτείνουμε σε τούτο το βιβλίο, αλλά τώρα έχουμε μια άπειρη ολότητα η οποία, σύμφωνα με τις δικές της αρχές, καθορίζει την ιεράρχηση των υποσυνόλων, που καθένα τους είναι σχετικά αυτόνομο, ανεξάρτητο και σταθερό.

Συνοψίζοντας, οι ιδέες που αναπτύσσουμε εδώ θα αποτελέσουν την αφετηρία για περαιτέρω πρόοδο η οποία θα αποκαλύψει αυτό που ενυπάρχει σιωπηρά σ' αυτές. Η πρόοδος συνεχίζει να προσφέρει ακόμα περισσότερες ιδέες για το βαθύτερο νόημα της κβαντικής θεωρίας. Συναισθάνομαι ότι τέτοιες ιδέες θα οδηγήσουν, αργά ή γρήγορα, σε περαιτέρω μαθηματικές προτάσεις, οι οποίες θα προσφέρουν συγκεκριμένες εμπειρικές προβλέψεις σε νέες περιοχές, πέρα από όσες μπορεί να καλύψει η παρούσα γενική μορφή των μαθηματικών νόμων της κβαντικής θεωρίας.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. C. Philippidis, C. Dewdney και B. Hiley, *Nuovo Cimento*, 52B, 15 (1979).
2. D. Bohm και B. Hiley, *Foundations of Physics*, 5, 93 (1975).
3. D. Bohm και B. Hiley, *Foundations of Physics*, 12, 1001 (1982).
4. D. Bohm και B. Hiley, *Foundations of Physics*, προς δημοσίευση.
5. A. Aspect, *Phys. Rev.*, 14D, 1944 (1976).
6. D. Bohm και B. Hiley, *Foundations of Physics*, προς δημοσίευση.
7. Ένθ. ανωτ.
8. D. Bohm, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge & Kegan Paul, London (1980).
9. D. Bohm, P. Davies και B. Hiley, προδημοσίευση.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

του Louis de Broglie

ΟΣΟΙ ΕΧΟΥΝ ΜΕΛΕΤΗΣΕΙ την ανάπτυξη της σύγχρονης φυσικής γνωρίζουν ότι η πρόοδος στη γνώση των φαινομένων του μικρόκοσμου τους οδήγησε να υιοθετήσουν, για τη θεωρητική ερμηνεία αυτών των φαινομένων, εντελώς διαφορετική στάση από αυτή της κλασικής φυσικής. Στην κλασική φυσική μπορούμε να περιγράψουμε αιτιακά την πορεία των φυσικών γεγονότων καθώς αυτά εξελίσσονται στο χώρο και το χρόνο, ή στο σχετικιστικό χωρόχρονο, και οι φυσικοί έχουν στο νου τους σαφή και ακριβή μοντέλα. Στην κβαντική φυσική, αντίθετα, δεν μπορούμε προς το παρόν να κάνουμε τέτοιου τύπου αναπαραστάσεις και αυτά τα μοντέλα είναι εντελώς ανέφικτα. Η κβαντική φυσική αποδέχεται μόνο θεωρίες βασισμένες σε καθαρά αφηρημένους μαθηματικούς τύπους, και απορρίπτει την ιδέα της αιτιακής εξέλιξης στα ατομικά και σωματιδιακά φαινόμενα· παρέχει μόνο νόμους πιθανοτήτων, τους οποίους θεωρεί πρωταρχικούς και συντελεστές της έσχατης πραγματικότητας που μπορεί να γίνει γνωστή: δεν επιτρέπει την εξήγησή τους μέσω της αιτιακής εξέλιξης, η οποία λειτουργεί σε βαθύτερο επίπεδο στο φυσικό κόσμο.

Μπορούμε να αποδεχθούμε λογικά ότι η στάση που υιοθέτησαν πριν από 30 περίπου χρόνια οι θεωρητικοί της κβαντικής φυσικής συμφωνεί ακριβώς, τουλάχιστον *κατ' όψιν*, με τις πληροφορίες για τον κόσμο του ατόμου που δίνουν τα πειράματα. Στο παρόν επίπεδο, στο οποίο έχουμε φθάσει με την έρευνα στο μικρόκοσμο, είναι βέβαιο ότι οι μέθοδοι μέτρησης δεν επιτρέπουν να προσδιορίσουμε ταυτόχρονα όλα τα μεγέθη που απαιτούνται για να σχηματίσουμε μια κλασικού τύπου εικόνα για τα σωματίδια (αυτό μπορεί να προκύψει από την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg), ενώ οι διαταράξεις που εισάγονται κατά τη μέτρηση, και είναι αδύνατο να εξαλειφθούν, μας εμποδίζουν γενικά να προβλέψουμε με ακρίβεια το αποτέλεσμα, και περιοριζόμαστε σε στατιστικές προβλέψεις. Έτσι δικαιώθηκε πλήρως η δημιουργία καθαρά πιθανοκρατικών μαθηματικών τύπων, τους οποίους χρησιμοποιούν σήμερα όλοι οι θεωρητικοί φυσικοί.

Ωστόσο, η πλειονότητα των φυσικών — συχνά υπό την επίδραση προκαταλήψεων που προέρχονται από το δόγμα των θετικιστών — θεωρεί ότι θα μπορούσε να προχωρήσει πιο πέρα και να αποδεχθεί ότι ο αβέβαιος και ατελής χαρακτήρας της γνώσης που παρέχει σήμερα το πείραμα για ό,τι συμβαίνει πραγματικά στο μικρόκοσμο είναι αποτέλεσμα μιας πραγματικής απροσδιοριστίας των φυσικών καταστάσεων και της εξέλιξής τους. Αυτή η άποψη δεν δικαιολογείται με κανένα τρόπο. Στο μέλλον, παρατηρώντας το βαθύτερο επίπεδο της φυσικής πραγματικότητας, ίσως μπορέσουμε να ερμηνεύσουμε τους νόμους των πιθανοτήτων και της κβαντικής φυσικής ως στατιστικά αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από την εμφάνιση μεταβλητών με εντελώς καθορισμένες τιμές, που προς το παρόν μας διαφεύγουν.

Τα πανίσχυρα μέσα που αρχίσαμε να χρησιμοποιούμε για να διασπάσουμε τη δομή του ατομικού πυρήνα και να δημιουργήσουμε νέα σωματίδια πιθανόν να μας προσφέρουν κάποτε άμεση γνώση γι' αυτό το βαθύτερο επίπεδο, την οποία δεν έχουμε σήμερα. Η διακοπή όλων των προσπαθειών που αποβλέπουν στην υπέρβαση αυτού του τρόπου θεώρησης της κβαντικής φυσικής θα εγκυμονούσε σοβαρούς κινδύνους για την πρόοδο της επιστήμης και θα ερχόταν σε αντίθεση με τα μαθήματα που μας δίνει η ιστορία της

επιστήμης. Πράγματι, αυτή μας διδάσκει ότι η πραγματική κατάσταση της γνώσης είναι πάντα προσωρινή και πρέπει να υπάρχουν τεράστιες νέες περιοχές πέρα από όσες γνωρίζουμε που αναμένουν να τις εξερευνήσουμε. Επιπλέον, η κβαντική φυσική επί αρκετά χρόνια αντιμετωπίζει ανεπίλυτα προβλήματα και φαίνεται πως έχει φθάσει σε αδιέξοδο. Αυτή η κατάσταση υποδεικνύει σαφώς ότι θα ήταν πολύτιμη κάθε προσπάθεια που θα επιδίωκε να τροποποιήσει το πλαίσιο ιδεών στο οποίο ηθελημένα έχει παγιδευθεί.

Είναι ευχάριστο να διαπιστώνει κανείς ότι τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται προσπάθειες να επανεξεταστούν τα θεμέλια της σύγχρονης ερμηνείας του μικρόκοσμου. Αφετηρία αυτής της κίνησης υπήρξαν δύο άρθρα του David Bohm, που δημοσιεύθηκαν στις αρχές του 1952 στο περιοδικό *Physical Review*. Πριν από πολλά χρόνια, το Μάιο του 1927, στο περιοδικό *Journal de Physique*, παρουσίασα μια αιτιακή ερμηνεία της κυματομηχανικής, τη «θεωρία των διπλών λύσεων», αλλά εγκατέλειψα την προσπάθεια αποθαρρημένος από την αυστηρή κριτική που προκάλεσε. Ο Καθηγητής D. Bohm, στην εργασία του 1952, χρησιμοποίησε μερικές ιδέες του άρθρου, τις σχολίασε και τις διεύρυνε με τόσο ενδιαφέροντα τρόπο, ώστε κατάφερε να διατυπώσει σημαντικά επιχειρήματα υπέρ της αιτιακής επανερμηνείας της κβαντικής φυσικής. Το άρθρο του Καθηγητή Bohm με παρακίνησε να ασχοληθώ ξανά με τις παλιές ιδέες μου, και μαζί με τους νεαρούς συναδέλφους μου στο Ινστιτούτο Henri Poincaré (κυρίως με τον Jean-Pierre Vigiér) καταλήξαμε σε μερικά ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Ο Vigiér, εργαζόμενος με τον Καθηγητή Bohm, ανέπτυξε μια ενδιαφέρουσα ερμηνεία για τη στατιστική σημασία του $|\psi|^2$ στην κυματομηχανική. Ευτυχώς, φαίνεται πως στα αμέσως επόμενα χρόνια θα συνεχιστούν οι προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. Νομίζω πως αυτές οι προσπάθειες θα αποδειχθούν γόνιμες και θα βοηθήσουν να απεγκλωβιστεί η κβαντική φυσική από το αδιέξοδο στο οποίο βρίσκεται τώρα.

Για να καταδείξει τη νομιμότητα, αλλά και την αναγκαιότητα, τέτοιων προσπαθειών, ο D. Bohm θεώρησε πως έφθασε η στιγμή να συμπεριλάβει εκ νέου στις έρευνές του την κριτική εξέταση της

υφής των θεωριών της φυσικής, καθώς και των ερμηνειών που επιδέχονται όταν εφαρμόζονται στην εξήγηση των φυσικών φαινομένων. Συνέκρινε την ανάπτυξη της κλασικής φυσικής, κατά την οποία εμφανίστηκαν διαδοχικά η άποψη για έναν παγκόσμιο μηχανισμό, κατόπιν η γενική θεωρία πεδίων και τελικά οι στατιστικές θεωρίες, με την εισαγωγή των νέων εννοιών της κβαντικής φυσικής. Ανέλυσε εύστοχα και προσεκτικά την έννοια της τύχης και έδειξε ότι εμφανίζεται σε κάθε στάδιο προόδου της γνώσης, όταν δεν έχουμε συνειδητοποιήσει ότι βρισκόμαστε στο κατώφλι ενός βαθύτερου επιπέδου της πραγματικότητας το οποίο μας διαφεύγει. Πεπεισμένος ότι η θεωρητική φυσική οδήγησε και θα οδηγήσει πάντα στην ανακάλυψη όλο και βαθύτερων επιπέδων του φυσικού κόσμου και ότι αυτή η πορεία θα συνεχιστεί χωρίς κανένα περιορισμό, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι σημερινές έννοιες της κβαντικής φυσικής για κανένα λόγο δεν πρέπει να θεωρούνται τελικές· οι ερευνητές πρέπει να συνεχίσουν να υποθέτουν ότι υπάρχουν περιοχές της πραγματικότητας σε μεγαλύτερο βάθος από αυτές που έχουν ήδη εξερευνηθεί.

Στον περιορισμένο χώρο ενός προλόγου είναι αδύνατο να αναπτύξω τη βαθιά και συναρπαστική μελέτη του D. Bohm. Ο αναγνώστης θα ανακαλύψει μια κομψή και εμπειριστατωμένη ανάλυση, που θα τον διδάξει και θα κεντρίσει τη σκέψη του. Κανείς δεν συγκεντρώνει περισσότερα προσόντα από τον Καθηγητή Bohm για τη συγγραφή ενός τέτοιου βιβλίου, που έρχεται ακριβώς την κατάλληλη στιγμή.

Ως τις αρχές του 22ού αιώνα, οι νόμοι της φυσικής θεωρούνταν αυστηρά ντετερμινιστικοί. Η ανάπτυξη όμως της μοντέρνας φυσικής οδήγησε πολλούς φυσικούς στο συμπέρασμα ότι αυτός ο ντετερμινισμός δεν ισχύει και ότι οι βασικοί νόμοι έχουν στατιστικό ή πιθανοκρατικό χαρακτήρα. Ο David Bohm σε τούτο το βιβλίο ασκεί κριτική σ' αυτές τις ιδέες. Ισχυρίζεται ότι ο ντετερμινισμός και οι «νόμοι της τύχης» είναι δύο αδιαχώριστες πλευρές μιας ενιαίας, βαθύτερης και πιο περιεκτικής δομής ενός νόμου που προχωρεί πέρα από αυτούς. Ο συγγραφέας προτείνει έναν νέο τρόπο ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας βασισμένο στην παραδοχή μιας τέτοιας δομής, υπό τη μορφή ενός υποκβαντομηχανικού επιπέδου, στο οποίο περιλαμβάνονται τα νέα είδη αιτιατών νόμων και οι στατιστικές διακυμάνσεις. Αυτή η προσέγγιση καθιστά δυνατή την περαιτέρω εμβάθυνση στην κβαντική θεωρία, επιτρέποντας ταυτόχρονα νέους τρόπους επέκτασής της σε καινούριες κατευθύνσεις. Έτσι η ιδέα της αδιαχώριστης ενότητας των στατιστικών και των αιτιατών όψεων επεκτείνεται στην ολότητα του πεδίου του φυσικού νόμου.

Ο David Bohm (1930-1992) σπούδασε φυσική και φιλοσοφία στο Πανεπιστήμιο California στο Berkeley και επί σαράντα χρόνια υπήρξε ενεργός ερευνητής στο Lawrence Radiation Lab στο Berkeley, στο Princeton, στο Sao Paulo και στη Haifa. Διετέλεσε καθηγητής της θεωρητικής φυσικής στο Πανεπιστήμιο Birkbeck στο Λονδίνο ως το 1983, και υπήρξε μέλος της Βρεταννικής Βασιλικής Εταιρείας. Έγραψε πάρα πολλά άρθρα και βιβλία. Τα γνωστότερα έργα του είναι: *Quantum Theory* (1951), *The Special Theory of Relativity* (1966), *Fragmentation and Wholeness* (1976), *Wholeness and the Implicate Order* (1980), *Changing Consciousness* (1991), *Undivided Universe* (1993), *Tought as a System* (1994).