

# βιβλία

## *The Concept of Probability (Η έννοια της πιθανότητας)*

E.I. Bitsakis, C. Nicolaides (editors)

Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1989

Στη σειρά «Fundamental Theories of Physics» του Οίκου Kluwer Academic Publishers, κυκλοφόρησε ο τόμος *The Concept of Probability* με editors τους Ε. Μπιτσάκη και Κ. Νικολαΐδη. Πρόκειται για τα πεπραγμένα του Διεθνούς Συνεδρίου με τον ομώνυμο τίτλο που πραγματοποιήθηκε στους Δελφούς, με αφορμή την εκατοστή επέτειο των γενεθλίων του Erwin Schrödinger.

Διοργανωτές του Συνεδρίου ήταν η Ομάδα Διεπιστημονικής Έρευνας και το Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών. Θέμα του Συνεδρίου ήταν η έννοια της πιθανότητας από αξιωματική, φυσική και επιστημολογική άποψη. Εντούτοις και εντελώς φυσιολογικά, το μεγαλύτερο μέρος του Συνεδρίου αφιερώθηκε στο πρόβλημα της πιθανότητας στη σύγχρονη Μικροφυσική. Ποια είναι όμως η αναγκαιότητα ενός Συνεδρίου στο οποίο μετείχαν περισσότεροι από εκατό φυσικοί, μαθηματικοί και φιλόσοφοι από 22 χώρες, με θέμα μια έννοια, η οποία κατά το μάλλον ή ήττον θεωρείται αυστηρά θεμελιωμένη;

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις στην έννοια της πιθανότητας: Η *θετικιστική* και η *ρεαλιστική*. Κατά την κυρίαρχη ερμηνεία που προέκυψε από την ερμηνεία της κλασικής Φυσικής (Μηχανική, Κινητική θεωρία των αερίων, Θερμοδυναμική), οι κλασικές πιθανότητες έχουν υποκειμενικό χαρακτήρα, είναι δηλαδή αποτέλεσμα της έλλειψης γνώσης. Η προσέγγιση, για παράδειγμα, της έννοιας της πιθανότητας από τον Laplace βασιζόταν σε μια σειρά προτάσεων οντολογικού χαρακτήρα, οι οποίες συγκροτούσαν μια μηχανιστική εικόνα ολόκληρου του Σύμπαντος.

Γενικά, η Θεωρία των Πιθανοτήτων και η Στατιστική έχουν ως στόχο να παρέχουν τα αναγκαία εφόδια για την ανάλυση του τυχαίου στη Φύση. Οπωσδήποτε, η διατύπωση πιθανοτικών συμπερασμάτων έχει ως απώτερο σκοπό προβλέψεις,

η ορθότητα των οποίων καθορίζει και το βαθμό επιτυχίας του πιθανοθεωρητικού μοντέλου. Κορμός του απαραίτητου μαθηματικού εξοπλισμού για τη μελέτη κλασικών μηχανικών συστημάτων είναι οι εξισώσεις του Hamilton. Με βάση τις εξισώσεις αυτές μπορούν να υπολογιστούν οι θέσεις και οι ορμές όλων των σωματιδίων σε κάθε χρονική στιγμή. Πρόκειται δηλαδή για μια αμιγώς αιτιοκρατική θεωρία, εφόσον έχουμε ακριβή πρόβλεψη μελλοντικών γεγονότων βασιζόμενοι σε γεγονότα του παρόντος. Απόκλιση από αυτή τη μορφή βεβαιότητας συνιστά η χρήση της Στατιστικής Μηχανικής, καθώς οι προβλέψεις αποκτούν τυχαίο χαρακτήρα.

Η κλασική Μηχανική και η κλασική Θεωρία των πιθανοτήτων έχουν οικοδομηθεί στην ίδια εννοιολογική βάση αναφορικά με την παρατήρηση των πιθανών ιδιοτήτων ενός συστήματος. Έτσι δεν εκπλήσσει το γεγονός ότι η Στατιστική Μηχανική, στην πρωταρχική της μορφή, εμφανίζεται ως άμεσος απόγονος των δύο ανωτέρω θεωριών. Η αιτιοκρατία του Laplace βασίζεται στην υπόθεση ότι κατ' αρχήν είναι δυνατόν να επιτευχθεί πλήρης γνώση ενός παρατηρούμενου συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή. Η υπόθεση αυτή θέτει ως όρο ένα αυστηρό διαχωρισμό μεταξύ παρατηρητού και παρατηρούμενου συστήματος.

Ωστόσο υπάρχουν επαρκείς ενδείξεις ότι τα κβαντομηχανικά συστήματα δεν είναι αναγκαίο να υπακούουν στα αξιώματα της κλασικής θεωρίας πιθανοτήτων. Όπως λέει χαρακτηριστικά ο Richard Feynman «οι κβαντομηχανικοί νόμοι του φυσικού κόσμου πλησιάζουν πολύ τους νόμους του Laplace καθώς αυξάνεται το μέγεθος των παρατηρούμενων αντικειμένων. Κατά συνέπεια, οι νόμοι των πιθανοτήτων, όπως εφαρμόζονται συνήθως, είναι αρκετά ικανοποιητικοί στην ανάλυση της συμπεριφοράς π.χ. του τροχού μιας ρουλέτας, όχι όμως και της συμπεριφοράς ενός ηλεκτρονίου ή ενός φωτονίου».

Η διατύπωση μιας κβαντοστατιστικής πιθανότητας και της αντίστοιχης αιτιοκρατικής θεωρίας ήταν νομοτελειακά επιβεβλημένη και δεν είναι τυχαίο ότι προήλθε από εκπροσώπους της Ρεαλιστικής Σχολής.

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ της έννοιας της κλασικής και της κβαντικής πιθανότητας έγκειται στο γεγονός ότι οι κλασικές πιθανότητες αντιστοιχούν σε πραγματικές καταστάσεις, ενώ οι κβαντικές πιθανότητες εκφράζουν ένα μέτρο των δυνητικοτήτων ενός κβαντικού στατιστικού συνόλου. Η Ρεαλιστική Σχολή αντιμετώπισε το καταστατικό διάνυσμα στην κβαντική Μηχανική ως μέτρο των δυνητικοτήτων του στατιστικού συνόλου και το χώρο Hilbert των καταστατικών διανυσμάτων, όχι ως χώρο πραγματικών καταστάσεων, αλλά ως χώρο των *δυνάμει* καταστάσεων του κβαντικού στατιστικού συνόλου. Αναδεικνύοντας τη διαλεκτική σχέση μεταξύ του *δυνάμει* και του *ενεργεία*, η Ρεαλιστική Σχολή ήταν σε θέση να διατυπώσει το νέο τύπο αιτιοκρατίας, τον κβαντοστατιστικό ντετερμινισμό.

Οι 37 εισηγήσεις που συνθέτουν τον τόμο αναφέρονται στην αξιωματική θεμελίωση της θεωρίας των πιθανοτήτων, στις κλασικές και κβαντικές πιθανότητες, καθώς και στη λογική όψη του προβλήματος. Τέλος στο Συνέδριο υπήρξαν εισηγήσεις που διαγράφουν νέους δρόμους για τις πιθανοκρατικές θεωρίες στη Φυσική.

Οι εισηγήσεις έχουν ταξινομηθεί σε έξι ενότητες με τα εξής θέματα: (α) Ακολουθώντας τις σκέψεις του Schrödinger. (β) Πιθανότητα και κβαντική Μηχανική. (γ) Μορφές της επιχειρηματολογίας επί της μη-τοπικότητας, το θεώρημα του Bell και οι συσχετίσεις Einstein - Podolsky - Rosen. (δ) Πραγματικά ή νοητά πειράματα και ερμηνεία τους. (ε) Ερωτήματα σχετικά με τη μη-αντιστρεψιμότητα και τη στοχαστικότητα. (στ) Επιστημολογία, ερμηνεία και εικασία.

Όπως σημειώθηκε ήδη, σύμφωνα με την κλασική άποψη, μια κλασική πιθανοτική κατανομή θα μπορούσε να αναχθεί σε υποσύνολα χωρίς διασπορές με την εισαγωγή συμπληρωματικών παραμέτρων στην περιγραφή του συστήματος. Η κλασική πιθανοκρατική περιγραφή εθεωρείτο προϊόν ατελούς γνώσης και αναγώγιμη σε μια αμιγώς αιτιοκρατική περιγραφή. Κατά τη Σχολή της Κοπεγχάγης, αντίθετα, οι κβαντικές πιθανότητες θεωρούνται αντικειμενικές, ουσιώδεις και *μη αναγώγιμες* σε δυναμική περιγραφή. Η Ρεαλιστική Σχολή (Einstein, Schrödinger, de Broglie κ.ά.) καταπολέμησε αυτή την άποψη και την συνακόλουθη για την πληρότητα της κβαντομηχανικής περιγραφής με τη βοήθεια νοητών πειραμάτων και με την ανάλυση των ασθενών σημείων της κυρίαρχης ερμηνείας. Αλλά από το 1952 έχουν διατυπωθεί όχι πλέον ερμηνείες, αλλά *θεωρίες* με λανθάνουσες παραμέτρους. Επίσης, μετά το θεώρημα του Bell (1964), το πρόβλημα της δυνατότητας για μια αιτιοκρατική και τοπική διατύπωση της Κβαντομηχανικής τέθηκε σε πειραματικό έλεγχο. Τα θέματα αυτά και ειδικά το πρόβλημα αιτιότητας -τοπικότητας συζητήθηκε στο Συνέδριο με βάση νεότερα θεωρητικά αλλά και πειραματικά δεδομένα.

Ίσως το σημαντικότερο στοιχείο που σφράγισε το Συνέδριο των Δελφών να αποτελεί το γεγονός ότι, ενώ μέχρι πρόσφατα η συζήτηση επί των εννοιολογικών θεμελίων της Κβαντομηχανικής συχνά λάμβανε αφηρημένο επιστημολογικό και έντονα μεταφυσικό χαρακτήρα, ήδη έχει μετατοπιστεί στο χώρο της σύγχρονης πειραματικής Φυσικής χάρη σε μια σειρά νέων κατάλληλων πειραμάτων (π.χ. συμβολομετρία νετρονίων). Από τον έως τώρα διεξαχθέντα έλεγχο των διαφορών ερωτημάτων και απόψεων φαίνεται πως η θετικιστική ερμηνεία της Σχολής της Κοπεγχάγης ίσως υποχωρήσει σταδιακά κάτω από την πίεση των γεγονότων, καθώς αποκαλύπτονται (σε μικρό βαθμό ακόμη) θεμελιακές εννοιολογικές ανακρίβειες. Σε κάθε περίπτωση ο πειραματικός έλεγχος και των δύο ερμηνειών θα συνεχιστεί με αμείωτο ενδιαφέρον.

Οπωσδήποτε, η μηχανιστική έννοια της πιθανότητας έχει εκσυγχρονιστεί με την πάροδο του χρόνου. Η τύχη και η αναγκαιότητα είναι δύο αμοιβαία αποκλειόμενες κατηγορίες μόνο από την οπτική γωνία της τυπικής λογικής. Κατά τη διαλεκτική λογική αποτελούν από κοινού, μαζί με τους δυναμικούς νόμους και τους πιθανοτικούς - στατιστικούς (νόμοι ίδιου οντολογικού χαρακτήρα αφού περιγράφουν αντικειμενικά φαινόμενα και οι μεν και οι δε), μορφές μέσα από τις οποίες πραγματώνεται ο προσδιορισμός των φυσικών φαινομένων. Έτσι η τύχη αποτελεί τη διαλεκτική άρνηση της αναγκαιότητας και βεβαίως όχι της αιτιότητας. Με άλλα λόγια το τυχαίο μπορεί υπό συνθήκες να μετατραπεί σε αναγκαίο. Αντίστροφα, ένα σύνολο από αιτιοκρατούμενα γεγονότα μπορεί να αποτελέσει

τη βάση ενός στατιστικού νόμου. Κατ' επέκταση η αναζήτηση κρυφών αιτιοκρατικών φαινομένων, τα οποία θα καθορίζουν την κατανομή των πιθανοτήτων δεν σημαίνει την επιστροφή στο μηχανιστικό ντετερμινισμό του Laplace.

Η άρνηση μιας κβαντοστατιστικής μορφής αιτιοκρατίας ως κατάλληλης να υπερβεί διαλεκτικά την κλασική (μηχανιστική) αιτιοκρατία αποτελεί ουσιαστικά άρνηση του αντικειμενικού χαρακτήρα της φύσης.

Το βιβλίο απευθύνεται σε φυσικούς, μαθηματικούς καθώς και σε όσους ασχολούνται με ή ενδιαφέρονται για τη Φιλοσοφία των Επιστημών με ιδιαίτερη έμφαση στην εννοιολογική θεμελίωση της κβαντικής Μηχανικής.

**ΘΕΟΦΑΝΗΣ ΓΡΑΜΜΕΝΟΣ**