

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΡΟΛΟΓΟΣ . . . . .	15
1. Φυσική και Φιλοσοφία . . . . .	17

### ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

#### ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ

2. Η απόλυτη αντίληψη περί χώρου και χρόνου . . . . .	29
2.1 Η πειραματική φιλοσοφία του Νεύτωνα . . . . .	29
2.2 Κανόνες συλλογισμού της φυσικής φιλοσοφίας . . . . .	31
2.3 Η σύνθεση των <i>Principia Mathematica</i> . . . . .	34
2.4 Η ανάπτυξη του μηχανικισμού: Απόλυτος αιτιοκρατικός καθορισμός . . . . .	39
2.5 Η νευτώνεια θεώρηση περί απόλυτου χώρου και χρόνου . . . . .	41
2.6 Απόλυτη έναντι σχετικής κίνησης: Αναζητώντας το δρων αίτιο . . . . .	44
2.7 Το πείραμα του περιστρεφόμενου κάδου . . . . .	48
3. Η υπερβατολογική αντίληψη του Kant περί χώρου και χρόνου . . . . .	52
3.1 Η ιδέα της υπερβατολογικής φιλοσοφίας: Η «κοπερνίκειος» στροφή . . . . .	52
3.2 Τα είδη των κρίσεων . . . . .	54
3.2.1 Αναλυτικές – Συνθετικές κρίσεις . . . . .	55
3.2.2 A priori – A posteriori . . . . .	56
3.2.3 Η έννοια της συνθετικής κρίσης a priori . . . . .	56
3.3 Αισθητικότητα και νόηση ως πηγές της γνώσης . . . . .	58
3.4 Η συνθετική λειτουργία των κατηγοριών της νόησης . . . . .	59
3.5 Η αρχή της αιτιότητας ως συνθετική κρίση a priori . . . . .	62
3.6 Διάκριση φαινομένων-νοουμένων: Αναδιάταξη των ορίων οντολογίας και γνωσιολογίας . . . . .	66
3.7 Χώρος και χρόνος: Καθαρές μορφές της κατ' αίσθηση εποπτείας . . . . .	69
3.7.1 Ο απόλυτος χώρος του Kant . . . . .	72

3.7.2 Χρονική διάταξη των φαινομένων – Αρχή της ταυτοχρονίας . . . .	74
3.8 Ο συνθετικός a priori χαρακτήρας της γεωμετρίας και η έννοια της κατασκευής . . . . .	76
3.8.1 Οι προτάσεις της γεωμετρίας ως συνθετικές προτάσεις a priori . . .	76
3.8.2 Ο γεωμετρικός χώρος ως αντικείμενο: Μορφολογική εποπτεία του χώρου . . . . .	77
3.8.3 Η έννοια της κατασκευής των γεωμετρικών εννοιών . . . . .	79
3.8.4 Αντικειμενική εγκυρότητα του γεωμετρικού συστήματος στη θεωρία γεωμετρίας του Kant . . . . .	81
3.9 Ανάπτυξη των μη ευκλείδειων γεωμετριών: Το ερώτημα της δομής του φυσικού χώρου . . . . .	84
4. Η σχεσιοκρατική αντίληψη περί χώρου και χρόνου . . . . .	93
4.1 Ο εμπειριοκριτικισμός του Mach – Η γέννηση του θετικισμού . . . . .	93
4.2 Η σχεσιοκρατική κριτική στη νευτώνεια αντίληψη περί απολύτου: Leibniz και Berkeley . . . . .	101
4.3 Η αναδιτύπωση της νευτώνειας μηχανικής από τον Mach: Εξάλειψη της νευτώνειας απολυτοκρατίας . . . . .	106
5. Η σχετικιστική αντίληψη περί χώρου και χρόνου: Ενότητα χώρου, χρόνου και κίνησης – Ειδική θεωρία της σχετικότητας . . . . .	111
5.1 Η υπόθεση του αιθέρα . . . . .	111
5.2 Αρχές της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας . . . . .	113
5.2.1 Τα αξιώματα . . . . .	114
5.2.2 Μετασηματισμοί Lorentz . . . . .	118
5.3 Επακόλουθα της ομάδας μετασηματισμών Lorentz . . . . .	124
5.3.1 Σχετικότητα της ταυτοχρονίας . . . . .	124
5.3.2 Συστολή του μήκους . . . . .	128
5.3.3 Διαστολή του χρόνου . . . . .	131
5.4 Συμμετρία χώρου-χρόνου . . . . .	134
5.5 Από τον χώρο και χρόνο στον χωρόχρονο: Ο απόλυτος κόσμος του Minkowski . . . . .	136
5.6 Δομή κώνου φωτός και αιτιότητα . . . . .	141
5.7 Αντικειμενικότητα και φυσική περιγραφή . . . . .	147
6. Ενότητα χωροχρόνου, κίνησης και ύλης:	
Γενική θεωρία της σχετικότητας . . . . .	150
6.1 Αρχή της ισοδυναμίας . . . . .	151
6.1.1 Ασθενής μορφή της αρχής ισοδυναμίας: Βαρύτητα και αδράνεια ως όψεις του ίδιου φαινομένου . . . . .	151
6.1.2 Ισχυρή μορφή της αρχής ισοδυναμίας: Τοπική ισχύς της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας . . . . .	155

6.2 Καμπυλότητα χωροχρόνου και βαρύτητα: Οι εξισώσεις πεδίου του Einstein . . . . .	159
6.3 Πρόταση Mach και γενίκευση της αρχής της σχετικότητας . . . . .	168

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

## ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

7. Η κλασική θεώρηση του κόσμου: Γνωσιολογικές προϋποθέσεις, οντολογικές προεκτάσεις . . . . .	179
7.1 Ατομισμός, αναγωγισμός, καρτεσιανός δυϊσμός . . . . .	179
7.2 Θεμελιώδη χαρακτηριστικά της περιγραφής φυσικών συστημάτων κατά την κλασική μηχανική . . . . .	180
7.3 Αρχή της διαχωρισμότητας: Εξατομίκευση φυσικών οντοτήτων . . . . .	184
7.4 Παθητικός χαρακτήρας της μέτρησης στην κλασική φυσική . . . . .	187
7.5 Συμβατότητα κλασικών φυσικών μεγεθών . . . . .	188
7.6 Λογική δομή του προτασιακού πλέγματος της κλασικής μηχανικής . . . . .	190
7.7 Αρχή των εγγενών τιμών . . . . .	194
7.8 Το «μεταφυσικό ιδεώδες» της φυσικής πραγματικότητας . . . . .	196
7.8.1 Η έννοια της «μεταφυσικής ανεξαρτησίας» κατά τον παραδοσιακό ρεαλισμό . . . . .	197
7.8.2 Υποκείμενο – αντικείμενο . . . . .	201
8. Η γέννηση της κβαντικής μηχανικής: Ανατροπή του μηχανιστικού προτύπου . . . . .	204
8.1 Ιστορική εξέλιξη της φυσικής: ρήξη και επανασύνθεση . . . . .	204
8.2 Η κβαντική υπόθεση του Planck . . . . .	206
8.3 Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός του φωτός: Η υπόθεση φωτονίων του Einstein . . . . .	208
8.4 Το ατομικό πρότυπο του Bohr . . . . .	210
8.5 Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης: Η υπόθεση των υλικών κυμάτων του de Broglie . . . . .	215
8.6 Η μηχανική πινάκων του Heisenberg . . . . .	218
8.7 Η κυματική μηχανική του Schrödinger . . . . .	222
8.8 Η πιθανοκρατική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης του Born . . . . .	226
9. Πρόδρομες αρχές της κβαντικής μηχανικής . . . . .	229
9.1 Αρχή της απροσδιοριστίας . . . . .	229
9.2 Αρχή της συμπληρωματικότητας . . . . .	236
9.3 Το πείραμα των δύο σχισμών ως θεμελιώδες πείραμα πρώτων αρχών . . . . .	246

10. Αξιοματική δομή της κβαντικής μηχανικής . . . . .	260
10.1 Χώρος Hilbert . . . . .	260
10.2 Αξίωμα I: Μαθηματική περιγραφή των καταστάσεων . . . . .	267
10.2.1 Αρχή της υπέρθεσης . . . . .	273
10.3 Αξίωμα II: Μαθηματική περιγραφή των φυσικών μεγεθών . . . . .	277
10.3.1 Συζυγής και αυτοσυζυγής τελεστής . . . . .	277
10.3.2 Σχέση ιδιοτιμών – ιδιοδιανυσμάτων . . . . .	279
10.3.3 Η σημασία του προβολικού τελεστή . . . . .	280
10.3.4 Μεταθέτης τελεστών: Κριτήριο διάκρισης μεταξύ συμβατών και ασύμβατων φυσικών μεγεθών . . . . .	286
10.3.5 Μη μεταθετικότητα τελεστών: Ο θεμελιώδης ρόλος τους και συναφείς συνέπειες . . . . .	290
10.4 Αξίωμα III: Κατανομή πιθανοτήτων – Κανόνας του Born . . . . .	297
10.5 Αξίωμα IV: Αξίωμα της προβολής – Αναγωγή της κβαντικής κατάστασης . . . . .	301
10.6 Αξίωμα V: Νόμος της δυναμικής – Χρονική εξέλιξη . . . . .	308
10.7 Αξίωμα VI: Σύνθεση συστημάτων – Δομή τανυστικού γινομένου . . . . .	313
10.8 Σύνοψη των θεμελιωδών αρχών της κβαντικής μηχανικής . . . . .	317
11. Η συνθετική λειτουργία του τελεστή πυκνότητας . . . . .	321
11.1 Χαρακτηρισμός και ιδιότητες του τελεστή πυκνότητας . . . . .	321
11.2 Καθαρές και μεικτές καταστάσεις . . . . .	324
11.2.1 Μη αναγωγιμότητα των καθαρών καταστάσεων . . . . .	324
11.2.2 Μη μονοσήμαντη ανάλυση των μεικτών καταστάσεων . . . . .	326
11.3 Καθορισμός του κβαντικού στατιστικού αλγορίθμου συναρτήσεως του τελεστή πυκνότητας . . . . .	331
11.3.1 Προσδιορισμός μέσης τιμής και κατανομής πιθανοτήτων . . . . .	331
11.3.2 Θεώρημα Gleason . . . . .	334
11.4 Αναγωγή του τελεστή πυκνότητας . . . . .	336
11.5 Χρονική εξέλιξη του τελεστή πυκνότητας . . . . .	337
11.6 Γενίκευση των θεμελιωδών αρχών της κβαντικής μηχανικής . . . . .	338
12. Το πρόβλημα της κβαντικής μέτρησης . . . . .	342
12.1 Διττή φύση της χρονικής εξέλιξης ενός κβαντικού συστήματος . . . . .	342
12.2 Διάκριση μεταξύ μείξης και υπέρθεσης καταστάσεων . . . . .	344
12.3 Ανάλυση της διαδικασίας της κβαντικής μέτρησης . . . . .	346
12.4 Η εισδοχή της συνείδησης του παρατηρητή κατά von Neumann . . . . .	350
12.5 Το παράδοξο της γάτας του Schrödinger . . . . .	353
12.6 Εναλλακτικές θεωρήσεις του προβλήματος της μέτρησης . . . . .	360
12.7 Περί του αυτοαναφορικού χαρακτήρα της κβαντικής μέτρησης . . . . .	362

13. Το <i>παράδοξο των Einstein, Podolsky και Rosen (EPR)</i> . . . . .	366
13.1 Το πρόβλημα της πληρότητας κατά EPR: Είναι η κβαντική μηχανική μια πλήρης θεωρία; . . . . .	367
13.2 Ανάλυση του επιχειρήματος EPR . . . . .	370
13.3 Συνέπειες του επιχειρήματος EPR . . . . .	372
13.4 Η απάντηση του Bohr . . . . .	374
14. <i>Ανισότητες Bell από το επίχειρημα EPR και η έννοια της μη τοπικότητας:</i> Εννοιολογικές και φιλοσοφικές προεκτάσεις . . . . .	377
14.1 Το θεώρημα Bell . . . . .	378
14.2 Απόδειξη της ανισότητας Bell . . . . .	379
14.3 Από τη μεταφυσική στη φυσική: Πειραματική διερεύνηση της ανισότητας Bell . . . . .	382
15. <i>Ανισότητες Bell από στοχαστικές θεωρίες κρυμμένων μεταβλητών:</i> Το φυσικό περιεχόμενο της παραβίασης της τοπικής αιτιότητας . . . . .	386
15.1 Στοχαστική εκδοχή ανισοτήτων <i>Bell</i> . . . . .	386
15.2 Αρχή της τοπικής αιτιότητας . . . . .	389
15.3 Απόδειξη ανισότητας τύπου Bell μέσω στοχαστικών θεωριών κρυμμένων μεταβλητών . . . . .	391
15.4 Παραβίαση της συνθήκης της «ανεξαρτησίας αποτελέσματος» . . . . .	393
15.5 Διατήρηση της συνθήκης της «ανεξαρτησίας παραμέτρου» . . . . .	395
15.6 Κβαντική μηχανική και σχετικιστική τοπικότητα: Ειρηνική συνύπαρξη . . . . .	399
15.7 Αρχή του κοινού αιτίου κατά Reichenbach και η διάρρηξή της στην κβαντική μηχανική . . . . .	401
16. Το καινοτόμο φαινόμενο της κβαντικής σύμπλεξης . . . . .	406
16.1 Κβαντική μη-διαχωρισσιμότητα – ολιστικές εκφάνσεις στη μικροφυσική . . . . .	406
16.2 Ισχυρή μορφή κβαντικής μη-διαχωρισσιμότητας . . . . .	409
16.3 Ασθενής μορφή κβαντικής μη-διαχωρισσιμότητας . . . . .	411
16.4 Δυνητικότητα ή δυνάμει ύπαρξη στη μικροφυσική . . . . .	413
16.5 Το EPR-αντεπιχείρημα των Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) . . . . .	417
17. Χιουμιανή επιγένεση, μεταφυσική των σχέσεων και κβαντική φυσική . . . . .	424
17.1 Η αντίληψη του Hume περί αιτιότητας και φυσικής αναγκαιότητας . . . . .	424
17.2 Η μεταφυσική θέση της χιουμιανής επιγένεσης . . . . .	426
17.3 Χιουμιανή επιγένεση και η συνάφειά της με την κλασική φυσική . . . . .	431
17.4 Η πτώση της χιουμιανής επιγένεσης υπό το πρίσμα της κβαντικής σύμπλεξης . . . . .	434

17.4.1	Ισχυρώς μη-επιγινόμενες σχέσεις . . . . .	434
17.4.2	Ασθενώς μη-επιγινόμενες σχέσεις . . . . .	436
17.5	Προς μια οντολογία των σχέσεων . . . . .	437
<b>18.</b>	<b>Ρεαλισμός και κβαντική θεωρία . . . . .</b>	<b>440</b>
18.1	Προς έναν ρεαλιστικό ρεαλισμό στη σύγχρονη επιστήμη . . . . .	440
18.2	Μεθοδολογικές προϋποθέσεις εποπτείας του κβαντικού αντικειμένου . . . . .	444
18.3	Επιστημική φύση του κβαντικού αντικειμένου . . . . .	447
18.4	Οντική φύση του κβαντικού αντικειμένου . . . . .	451
18.5	Επιστήμη και αλήθεια . . . . .	454
18.5.1	Αντιστοιχιστική θεωρία της αλήθειας . . . . .	454
18.5.2	Προοπτικιστική/Πλαισιοκρατική θεώρηση της αλήθειας ως αντιστοιχίας . . . . .	459
18.6	Σύγχρονος επιστημονικός προοπτικισμός . . . . .	465
18.6.1	Προοπτικιστικός ρεαλισμός . . . . .	466
18.6.2	Μεθοδολογική δομή και λειτουργία του επιστημονικού προοπτικισμού . . . . .	470
<b>19.</b>	<b>Κατηγοριοθεωρητική προσέγγιση της κβαντικής μηχανικής . . . . .</b>	<b>476</b>
19.1	Αρχές και θεμελιώδεις έννοιες της θεωρίας κατηγοριών . . . . .	476
19.2	Κατηγορική αναπαράσταση κβαντικής δομής γεγονότων . . . . .	481
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ . . . . .</b>	<b>487</b>