

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος 15

Μερικές σκέψεις επί του παρόντος συγγράμματος 19

ΜΕΡΟΣ Ι

ΘΕΩΡΙΑ

1 | Η ΚΥΜΑΤΟΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

1.1 Η εξίσωση Schrödinger 23

1.2 Στατιστική ερμηνεία 24

1.3 Πιθανότητες 30

1.3.1 Διακριτές μεταβλητές 30

1.3.2 Συνεχείς μεταβλητές 34

1.4 Κανονικοποίηση 38

1.5 Ορμή 40

1.6 Η αρχή της αβεβαιότητας 44

Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 1 46

2 | Η ΧΡΟΝΟΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΕΞΙΣΩΣΗ SCHRÖDINGER

2.1 Στάσιμες καταστάσεις 52

2.2 Τετραγωνικό απειρόβαθο πηγάδι 60

2.3 Ο αρμονικός ταλαντωτής 70

2.3.1 Η αλγεβρική μέθοδος 72

2.3.2 Η αναλυτική μέθοδος 82

2.4 Το ελεύθερο σωματίδιο 91

2.5 Δυναμικό συνάρτησης δ 99

2.5.1 Δέσμιες καταστάσεις και καταστάσεις σκέδασης 99

- 2.5.2 Πηγάδι δυναμικού συνάρτησης δέλτα 101
- 2.6 Τετραγωνικό πηγάδι δυναμικού πεπερασμένου βάθους 110
 - Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 2 118

3 | ΦΟΡΜΑΛΙΣΜΟΣ

- 3.1 Ο χώρος Hilbert 137
- 3.2 Παρατηρήσιμα μεγέθη 141
 - 3.2.1 Ερμιτιανοί τελεστές 141
 - 3.2.2 Καθορισμένες καταστάσεις 143
- 3.3 Ιδιοσυναρτήσεις ερμιτιανών τελεστών 145
 - 3.3.1 Διακριτά φάσματα 146
 - 3.3.2 Συνεχή φάσματα 148
- 3.4 Γενικευμένη στατιστική ερμηνεία 152
- 3.5 Η αρχή της αβεβαιότητας 156
 - 3.5.1 Απόδειξη της γενικευμένης αρχής της αβεβαιότητας 156
 - 3.5.2 Το κυματοπακέτο ελάχιστης αβεβαιότητας 160
 - 3.5.3 Η αρχή αβεβαιότητας ενέργειας-χρόνου 161
- 3.6 Διανύσματα και τελεστές 166
 - 3.6.1 Βάσεις στον χώρο Hilbert 166
 - 3.6.2 Ο συμβολισμός του Dirac 171
 - 3.6.3 Αλλαγή βάσης στον συμβολισμό του Dirac 176
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 3 179

4 | ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

- 4.1 Η εξίσωση Schrödinger 189
 - 4.1.1 Σφαιρικές συντεταγμένες 191
 - 4.1.2 Η γωνιακή εξίσωση 192
 - 4.1.3 Η ακτινική εξίσωση 198
- 4.2 Το άτομο του υδρογόνου 203
 - 4.2.1 Η ακτινική κυματοσυνάρτηση 204
 - 4.2.2 Το φάσμα του υδρογόνου 217
- 4.3 Στροφορμή 220
 - 4.3.1 Ιδιοτιμές 220
 - 4.3.2 Ιδιοσυναρτήσεις 227
- 4.4 Σπιν 231
 - 4.4.1 Σπιν $\frac{1}{2}$ 233
 - 4.4.2 Ηλεκτρόνιο σε μαγνητικό πεδίο 239
 - 4.4.3 Πρόσθεση στροφορμών 244

- 4.5 Ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις 250
 - 4.5.1 Η ελάχιστη σύζευξη 250
 - 4.5.2 Το φαινόμενο Aharonov-Bohm 252
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 4 257

5 | ΤΑΥΤΟΣΗΜΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

- 5.1 Σύστημα δύο σωματιδίων 273
 - 5.1.1 Μποζόνια και φερμιόνια 277
 - 5.1.2 Δυνάμεις ανταλλαγής 280
 - 5.1.3 Σπιν 284
 - 5.1.4 Γενικευμένη αρχή συμμετρικοποίησης 285
- 5.2 Άτομα 289
 - 5.2.1 Το άτομο του ηλίου 290
 - 5.2.2 Ο Περιοδικός Πίνακας 293
- 5.3 Στερεά 298
 - 5.3.1 Το αέριο των ελεύθερων ηλεκτρονίων 299
 - 5.3.2 Δομή ζωνών 304
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 5 310

6 | ΣΥΜΜΕΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

- 6.1 Εισαγωγή 318
 - 6.1.1 Μετασχηματισμοί στον χώρο 319
- 6.2 Ο τελεστής μετατόπισης 321
 - 6.2.1 Πώς μετασχηματίζονται οι τελεστές 322
 - 6.2.2 Συμμετρία στις μετατοπίσεις 325
- 6.3 Νόμοι διατήρησης 330
- 6.4 Ομοτιμία 331
 - 6.4.1 Ομοτιμία σε μία διάσταση 331
 - 6.4.2 Ομοτιμία σε τρεις διαστάσεις 333
 - 6.4.3 Ομοτιμία και κανόνες επιλογής 335
- 6.5 Συμμετρία στις στροφές 337
 - 6.5.1 Στροφές γύρω από τον άξονα z 337
 - 6.5.2 Στροφές σε τρεις διαστάσεις 339
- 6.6 Εκφυλισμός 342
- 6.7 Στροφές και κανόνες επιλογής 346
 - 6.7.1 Κανόνες επιλογής των βαθμωτών τελεστών 346
 - 6.7.2 Κανόνες επιλογής των διανυσματικών τελεστών 350
- 6.8 Χρονικές μετατοπίσεις 356

- 6.8.1 Η εικόνα του Heisenberg 357
- 6.8.2 Συμμετρία σε χρονικές μετατοπίσεις 360
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 6 363

ΜΕΡΟΣ II

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

7 | ΧΡΟΝΟΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ

- 7.1 Θεωρία διαταραχών μη εκφυλισμένων καταστάσεων 375
 - 7.1.1 Γενικός φορμαλισμός 375
 - 7.1.2 Θεωρία διαταραχών πρώτης τάξης 377
 - 7.1.3 Ενέργειες δεύτερης τάξης 381
- 7.2 Θεωρία διαταραχών εκφυλισμένων καταστάσεων 384
 - 7.2.1 Διπλός εκφυλισμός 384
 - 7.2.2 «Καλές» καταστάσεις 390
 - 7.2.3 Εκφυλισμός ανώτερης τάξης 393
- 7.3 Υπέρλεπτη υφή του ατόμου του υδρογόνου 395
 - 7.3.1 Σχετικιστική διόρθωση 396
 - 7.3.2 Σύζευξη σπιν-τροχιάς 400
- 7.4 Φαινόμενο Zeeman 406
 - 7.4.1 Φαινόμενο Zeeman ασθενούς πεδίου 407
 - 7.4.2 Φαινόμενο Zeeman ισχυρού πεδίου 410
 - 7.4.3 Φαινόμενο Zeeman πεδίο ενδιάμεσης έντασης 411
- 7.5 Διαχωρισμός υπέρλεπτης υφής στο υδρογόνο 414
 - Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 7 417

8 | Η ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

- 8.1 Θεωρία 435
- 8.2 Η θεμελιώδης κατάσταση του ατόμου του ηλίου 441
- 8.3 Το ιόν του μοριακού υδρογόνου 447
- 8.4 Το μόριο του υδρογόνου 452
 - Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 8 459

9 | Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ WKB

- 9.1 Η «κλασική» περιοχή 470
- 9.2 Φαινόμενο σήραγγας 474
- 9.3 Συνδετικές εξισώσεις 480
 - Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 9 489

10 | ΣΚΕΔΑΣΗ

- 10.1 Εισαγωγή 496
 - 10.1.1 Κλασική θεωρία σκέδασης 496
 - 10.1.2 Κβαντική θεωρία σκέδασης 500
- 10.2 Ανάλυση σε επιμέρους κύματα 501
 - 10.2.1 Φορμαλισμός 501
 - 10.2.2 Στρατηγική 504
- 10.3 Μετατόπιση φάσης 507
- 10.4 Η προσέγγιση Born 510
 - 10.4.1 Ολοκληρωτική μορφή της εξίσωσης Schrödinger 510
 - 10.4.2 Η πρώτη προσέγγιση Born 515
 - 10.4.3 Η σειρά Born 519
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 10 521

11 | ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

- 11.1 Συστήματα δύο καταστάσεων 529
 - 11.1.1 Το διαταραγμένο σύστημα 530
 - 11.1.2 Χρονοεξαρτώμενη θεωρία διαταραχών 533
 - 11.1.3 Ημιτονοειδείς διαταραχές 536
- 11.2 Εκπομπή και απορρόφηση ακτινοβολίας 539
 - 11.2.1 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα 539
 - 11.2.2 Απορρόφηση, διεγερόμενη εκπομπή και αυθόρμητη εκπομπή 541
 - 11.2.3 Μη συνοχικές διαταραχές 543
- 11.3 Αυθόρμητη εκπομπή 546
 - 11.3.1 Οι συντελεστές A και B του Einstein 546
 - 11.3.2 Χρόνος ζωής διεγερμένης κατάστασης 549
 - 11.3.3 Κανόνες επιλογής 552
- 11.4 Ο Χρυσός Κανόνας του Fermi 554
- 11.5 Η αδιαβατική προσέγγιση 559
 - 11.5.1 Αδιαβατική διαδικασία 559
 - 11.5.2 Το αδιαβατικό θεώρημα 562
- Πρόσθετα προβλήματα στο Κεφάλαιο 11 567

12 | ΕΠΙΛΟΓΟΣ

- 12.1 Το παράδοξο EPR 584
- 12.2 Το θεώρημα του Bell 586

12.3 Μεικτές καταστάσεις και ο πίνακας πυκνότητας	594
12.3.1 Καθαρές (ή αμιγείς) καταστάσεις	594
12.3.2 Μεικτές καταστάσεις	597
12.3.3 Υποσυστήματα	599
12.4 Το θεώρημα μη κλωνοποίησης	600
12.5 Η γάτα του Schrödinger	603

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΛΓΕΒΡΑ

A.1 Διανύσματα	606
A.2 Εσωτερικά γινόμενα	609
A.3 Πίνακες	611
A.4 Αλλαγή βάσης	617
A.5 Ιδιοδιανύσματα και ιδιοτιμές	620
A.6 Ερμιτιανοί μετασχηματισμοί	629
Τυπολόγιο	633