Table des matières

Introduction. 1
Hervé ZWIRN

Chapitre 1. Brève introduction à la mécanique quantique et petit panorama des interprétations **7**
Hervé ZWIRN

1.1. Le formalisme quantique 8
1.1.1. États et observables 8
1.1.2. Évolution de l'état d'un système sans et avec mesure 9
1.2. Le problème de la mesure 10
1.3. Les interprétations 13
1.3.1. Les modifications du formalisme 13
1.3.2. L'interprétation de Copenhague 14
1.3.3. L'interprétation dualiste de von Neumann, Wigner et London et Bauer 16
1.3.4. L'interprétation d'Everett 16
1.3.5. L'interprétation relationnelle 17
1.3.6. Le QBism 18
1.3.7. Le pragmatisme 19
1.3.8. Le solipsisme convivial (ConSol) 20
1.4. Conclusion 20

Chapitre 2. Réalisme bohrien 21
Thomas RYCKMAN

2.1. Le problème de l'observation 22
2.2. Objectivité 24
2.3. Sujet et objet 25

2.4. Redéfinir le terme « phénomène » 30
2.5. Réalisme, sans représentationnalisme 33
2.6. Bibliographie 36

Chapitre 3. La vision multivers de la mécanique quantique 39
Lev VAIDMAN

Chapitre 4. Probabilité selon Everett 61
Jeffrey A. BARRETT

4.1. Introduction 61
4.2. Le problème de la mesure selon Everett 63
4.3. Données relatives et expérience subjective 66
4.4. La théorie des probabilités d'Everett 70
4.5. Forte adéquation et mécanique des ondes pures 73
4.6. La division des mondes et l'autolocalisation 75
4.7. Deux options métaphysiques 77
4.8. Mondes en interaction 81
4.9. Discussion 82
4.10. Bibliographie 83

Chapitre 5. La théorie quantique d'un point de vue pragmatique 89
Richard HEALEY

5.1. Une perspective pragmatique 89
5.2. Mise en œuvre de cette nouvelle stratégie 92
5.3. Problème de non-mesure 97
5.4. Pas d'action non locale 98
5.5. Application des modèles de champs quantiques 102
5.6. L'ami de Wigner 103
5.7. Extension de l'ami de Wigner 105
5.8. Quatre types de relativisme quantique 110
5.9. Bibliographie 117

Chapitre 6. Le rôle de l'observateur : le solipsisme convivial 121
Hervé ZWIRN

6.1. Les interprétations en présence 122

6.1.1. Les positions philosophiques 122
6.1.2. Les modifications du formalisme. 123
6.1.3. L'école de Copenhague 123
6.1.4. L'interprétation dualiste de von Neumann, Wigner et London et Bauer 124
6.1.5. Le pragmatisme 125
6.1.6. L'interprétation relationnelle 126
6.1.7. Le QBism 126
6.1.8. L'interprétation d'Everett 127
6.2. Le solipsisme convivial. 128
6.2.1. Le mécanisme d'accrochage 129
6.2.2. Relativité, mais convivialité. 132
6.2.3. Réalité empirique et réalité phénoménale. 135
6.2.4. Le paradoxe d'Einstein – Podolsky – Rosen 137
6.2.5. Y a-t-il vraiment une non-localité ? 138
6.3. Conclusion 142
6.4. Bibliographie. 143

Chapitre 7. Interprétations copenhaguiennes de la mécanique quantique. 147
David SCHMID, Yìlè YĪNG et Matthew S. LEIFER

7.1. Introduction. 148
7.2. Interprétations de Copenhague 152
7.2.1. Quatre postulats fondamentaux. 152
7.2.2. Ce que les interprétations copenhaguiennes ne sont pas 163
7.2.3. Coupure changeante 168
7.3. Le problème de la mesure 171
7.4. L'ami de Wigner. 175
7.4.1. L'ennemi de Wigner 177
7.4.2. L'espion et le correspondant de Wigner. 181
7.5. Conclusion 183
7.6. Remerciements. 184
7.7. Bibliographie. 184

Chapitre 8. Énergie noire 189
Nathalie PALANQUE-DELABROUILLE

8.1. L'Univers en expansion 189
8.2. Premiers indices de l'existence d'énergie noire 191
8.3. Interrogations sur la nature de l'énergie noire 193
8.4. Le modèle standard de la cosmologie 195

8.5. Approches observationnelles pour tenter de décrypter l'énergie noire 198
8.6. Origine d'une règle de référence pour mesurer l'expansion cosmique 200
8.7. DESI et les grands relevés de galaxies 203
8.8. Un nouveau tournant pour l'énergie noire ? 205
8.9. Conclusion 209
8.10. Bibliographie 210

Chapitre 9. Matière noire 211
Françoise COMBES

9.1. Petit aperçu historique 211
9.2. À l'échelle des galaxies : courbes de rotation des galaxies spirales 215
9.3. Relations d'échelle des courbes de rotation 216
9.4. Les galaxies sans matière noire : des exceptions intrigantes 219
9.5. La matière noire à l'échelle des amas de galaxies 220
9.6. Le cisaillement cosmique et les collisions d'amas : révélateurs de la matière noire 222
9.7. Le fond cosmologique micro-onde : une mesure d'une précision inégalée 224
9.8. Solutions pour la matière noire 226
9.9. Expériences de détection directe de matière noire 229
9.10. Détection indirecte de matière noire 230
9.11. Gravité modifiée 231
9.12. Conclusion 233
9.13. Bibliographie 234

Chapitre 10. Ondes gravitationnelles 237
Matteo BARSUGLIA et Simone MASTROGIOVANNI

10.1. Introduction 237
10.2. Les ondes gravitationnelles dans le cadre de la théorie de la relativité générale. 238
10.3. Sources d'ondes gravitationnelles 239
10.4. Détecteurs d'ondes gravitationnelles 241
10.5. La première détection d'ondes gravitationnelles, GW150914 243
10.6. Observation multimessagère GW170817 244
10.7. Les observations LIGO-Virgo-KAGRA 245
10.8. Les propriétés astrophysiques des coalescences binaires compactes 247

10.9. Cosmologie avec des populations d'ondes gravitationnelles 249
10.10. Tests de la relativité générale avec une population d'ondes gravitationnelles 250
10.11. Détecteurs futurs : l'Einstein Telescope, le Cosmic Explorer et LISA 251
10.12. Bibliographie 254

Chapitre 11. Le (grand) problème de l'énergie du vide 257
Bruno MANSOULIÉ

11.1. Introduction 257
11.2. Relativité générale 258
11.2.1. Les bases de la RG et ses succès 258
11.2.2. La constante cosmologique 260
11.3. Un Univers en expansion accélérée 260
11.3.1. Interprétation comme énergie du vide 261
11.4. Théorie quantique des champs : les bases 262
11.4.1. Théorie quantique non relativiste : état fondamental 262
11.4.2. Théorie quantique relativiste : les bases, les succès 262
11.4.3. Les problèmes de la théorie quantique des champs : les infinis, la renormalisation 263
11.5. L'énergie du vide en TQC 265
11.5.1. Estimation naïve 265
11.5.2. Vers une meilleure estimation ? 266
11.5.3. Quelques pistes 267
11.5.4. Pistes en physique des particules 270
11.5.5. Pistes en relativité générale 271
11.6. Conclusion 272
11.7. Bibliographie 273

Chapitre 12. Temporalité dans l'espace-temps relativiste 275
Marc LACHIÈZE-REY

12.1. Effets temporels relativistes 275
12.2. Du temps à l'espace-temps 276
12.2.1. Quelques aspects du temps newtonien 276
12.2.2. L'espace-temps 278
12.2.3. Histoires et durées propres 278
12.2.4. Les ETR dans l'espace-temps 280
12.3. Les décalages temporels 281
12.3.1. Les décalages spectraux 281
12.3.2. Le décalage cinématique 282

12.3.3. Les décalages gravitationnels 283
12.3.4. L'expérience de Pound et Rebka 283
12.3.5. À la tour de Tokyo 284
12.3.6. Décalages gravitationnels astrophysiques 285
12.4. Les délais temporels 286
12.4.1. L'expérience Hafele-Keating : décalages et délais 287
12.4.2. Décalages, délais et GPS 287
12.4.3. Près d'un trou noir 288
12.4.4. Le retard Shapiro 288
12.5. Que faire du temps ? 289
12.5.1. Temps et vitesse du temps 289
12.5.2. La vitesse du temps ? 291
12.6. Conclusion 292

Chapitre 13. Une histoire des expériences de pensée en gravité quantique 293
Thiago HARTZ et Olival FREIRE JUNIOR

13.1. Introduction 293
13.2. Expériences de pensée avant la théorie quantique 294
13.3. Expériences de pensée en théorie quantique 297
13.4. Des expériences de pensée devenues réalité 298
13.5. Approches de la gravité quantique 299
13.6. Expériences de pensée en gravité quantique 303
13.6.1. Analogie entre la gravitation et l'électromagnétisme 303
13.6.2. Ordre approprié entre formalisme et analyse des mesures 303
13.6.3. La recherche d'incohérences et de contradictions 306
13.6.4. L'expérience suggérée par Belinfante et Feynman 310
13.6.5. La relativité générale comme théorie valable uniquement pour les petites fluctuations 311
13.7. Les promesses de la gravité quantique expérimentale 314
13.8. Conclusion 315
13.9. Remerciements 316
13.10. Bibliographie 316

Chapitre 14. Le possible en physique 323
Baptiste LE BIHAN, Emilia MARGONI et Annica VIESER

14.1. Introduction 323
14.2. Mécanique classique 325
14.3. Possibilités cinématiques et dynamiques 329
14.4. Relativité générale 331

14.5. Mécanique quantique non relativiste 335
14.6. Remarques finales 340
14.7. Remerciements 341
14.8. Bibliographie 342

Liste des auteurs 345

Index 347