

TRADUIT  
DU RUSSE

PRINCIPES  
DE MÉCANIQUE  
QUANTIQUE

D. BLOKHINTSEV



ÉDITIONS DE MOSCOU

## TABLE DES MATIÈRES

Préface à la cinquième édition .....	5
Introduction .....	7
<b>Chapitre premier. FONDEMENTS DE LA THÉORIE QUANTIQUE ....</b>	<b>11</b>
§ 1. Energie et impulsion du quantum de lumière.....	11
§ 2. Vérification expérimentale des lois de conservation de l'énergie et de l'impulsion pour les quanta de lumière.....	14
§ 3. Atomisme .....	18
§ 4. Théorie de Bohr .....	25
§ 5. Théorie quantique élémentaire de rayonnement.....	28
§ 6. Rayonnement noir .....	32
§ 7. Ondes de De Broglie. Vitesse de groupe.....	34
§ 8. Diffraction des microparticules.....	39
<b>Chapitre II. FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE....</b>	<b>45</b>
§ 9. Interprétation statistique des ondes de De Broglie .....	45
§ 10. Probabilités de présence d'une particule .....	48
§ 11. Principe de superposition des états.....	51
§ 12. Probabilité d'impulsion d'une particule.....	53
§ 13. Valeurs moyennes des fonctions des coordonnées et des fonctions des impulsions .....	56
§ 14. Ensembles statistiques de la mécanique quantique.....	57
§ 15. Relations d'incertitude .....	62
§ 16. Exemples d'application du principe d'incertitude .....	68
§ 17. Rôle des appareils de mesure .....	76
<b>Chapitre III. REPRÉSENTATION DES GRANDEURS MÉCANIQUES   PAR DES OPÉRATEURS .....</b>	<b>83</b>
§ 18. Opérateurs linéaires autoconjugués .....	83
§ 19. Formules générales de la valeur moyenne d'une grandeur et de l'écart quadratique moyen .....	87
§ 20. Valeurs propres et fonctions propres des opérateurs et leur si- gnification physique « Quantification » .....	89
§ 21. Propriétés fondamentales des fonctions propres.....	93
§ 22. Méthode générale de calcul des probabilités des résultats d'une mesure .....	97
§ 23. Conditions déterminant la possibilité d'une mesure simultanée de différentes grandeurs mécaniques .....	100
§ 24. Opérateurs de position et d'impulsion d'une microparticule....	101

§ 25. Opérateur du moment cinétique d'une microparticule.....	104
§ 26. Opérateur de l'énergie et fonction de Hamilton.....	109
§ 27. Hamiltonien .....	111
<b>Chapitre IV. VARIATION DE L'ÉTAT DANS LE TEMPS.....</b>	<b>113</b>
§ 28. Equation de Schrödinger .....	113
§ 29. Conservation du nombre de particules .....	120
§ 30. Etats stationnaires .....	124
<b>Chapitre V. VARIATION DES GRANDEURS MÉCANIQUES DANS LE TEMPS .....</b>	<b>127</b>
§ 31. Dérivées des opérateurs par rapport au temps.....	127
§ 32. Equations de mouvement en mécanique quantique et théorèmes d'Ehrenfest .....	129
§ 33. Intégrales de mouvement .....	132
<b>Chapitre VI. RAPPORTS DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE AVEC LA MÉCANIQUE CLASSIQUE ET L'OPTIQUE .....</b>	<b>135</b>
§ 34. Transition des équations quantiques aux équations de Newton	135
§ 35. Passage de l'équation temporelle de Schrödinger à l'équation classique de Hamilton-Jacobi .....	140
§ 36. Rapports entre la mécanique quantique et l'optique.....	144
§ 37. Approximation quasi classique (méthode de Wentzel-Kramers-Brillouin) .....	148
<b>Chapitre VII. FONDEMENTS DE LA THÉORIE DES REPRÉSENTATIONS</b>	<b>152</b>
§ 38. Différentes représentations de l'état de systèmes quantiques....	152
§ 39. Différentes représentations d'opérateurs de grandeurs mécaniques. Matrices .....	154
§ 40. Matrices et opérations sur les matrices.....	157
§ 41. Détermination de la valeur moyenne et du spectre de valeurs d'une grandeur définie par un opérateur sous forme matricielle....	162
§ 42. Forme matricielle de l'équation de Schrödinger et de la variation en fonction du temps des opérateurs.....	165
§ 43. Transformations unitaires .....	169
§ 44. Transformations unitaires assurant le passage d'un instant à un autre. Matrice de diffusion .....	173
§ 45. Représentation de Heisenberg et la représentation des interactions en mécanique quantique.....	175
§ 46. Matrice de densité .....	179
<b>Chapitre VIII. THÉORIE DU MOUVEMENT DE MICROPARTICULES DANS UN CHAMP DE FORCES DÉRIVANT D'UN POTENTIEL</b>	<b>184</b>
§ 47. Oscillateur harmonique .....	184
§ 48. Etude de l'oscillateur dans la représentation en énergie.....	192
§ 49. Mouvement dans le champ d'une force centrale.....	195
§ 50. Mouvement dans un champ coulombien.....	203
§ 51. Spectre et fonctions d'onde de l'atome d'hydrogène.....	208
§ 52. Mouvement de l'électron dans les atomes monovalents.....	217
§ 53. Courants dans les atomes. Magnéton.....	220
§ 54. Niveaux quantiques d'une molécule biatomique.....	223
§ 55. Mouvement d'un électron dans un champ périodique.....	230

Chapitre IX. MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE .....	240
§ 56. Mouvement dans un champ électromagnétique quelconque....	240
§ 57. Mouvement d'une particule chargée libre dans un champ magnétique homogène .....	246
Chapitre X. MOMENTS CINÉTIQUE ET MAGNÉTIQUE PROPRES DE L'ÉLECTRON (SPIN DE L'ÉLECTRON) .....	249
§ 58. Preuves expérimentales de l'existence du spin de l'électron....	249
§ 59. Opérateur de spin de l'électron.....	252
§ 60. Fonctions de spin .....	256
§ 61. Equation de Pauli .....	260
§ 62. Eclatement des raies spectrales en présence d'un champ magnétique	263
§ 63. Mouvement de spin dans un champ magnétique alternatif....	268
§ 64. Propriétés du moment cinétique total.....	271
§ 65. Numérotage des termes de l'atome, compte tenu du spin de l'électron. Structure en multiplet des spectres.....	276
Chapitre XI. THÉORIE DE PERTURBATION.....	281
§ 66. Définition du problème .....	281
§ 67. Calcul de perturbation en l'absence de dégénérescence .....	284
§ 68. Calcul de perturbation dans le cas de dégénérescence.....	289
§ 69. Eclatement des niveaux dans le cas d'une dégénérescence double	294
§ 70. Remarques concernant la levée de la dégénérescence.....	297
Chapitre XII. EXEMPLES SIMPLES D'APPLICATION DE LA THÉORIE DE PERTURBATION.....	301
§ 71. Oscillateur anharmonique .....	301
§ 72. Eclatement des raies spectrales en présence d'un champ électrique extérieur .....	304
§ 73. Eclatement des raies spectrales de l'atome d'hydrogène en présence d'un champ électrique .....	308
§ 74. Eclatement des raies spectrales dans un champ magnétique faible	312
§ 75. Modèle vectoriel donnant une interprétation simple de l'éclatement des niveaux dans un champ magnétique faible.....	318
§ 76. Mise en œuvre de la méthode de perturbation pour un spectre continu .....	319
Chapitre XIII. THÉORIE DES COLLISIONS.....	327
§ 77. Position du problème dans la théorie de collision de microparticules .....	327
§ 78. Calcul de la diffusion élastique dans l'approximation de Born	332
§ 79. Diffusion élastique des particules chargées rapides par les atomes .....	337
§ 80. Théorie complète de la diffusion. Matrice de diffusion.....	344
§ 81. Cas général de la diffusion. Relations de dispersion.....	353
§ 82. Diffusion d'une particule chargée dans un champ coulombien	363
Chapitre XIV. THÉORIE DES TRANSITIONS QUANTIQUES.....	366
§ 83. Position du problème .....	366
§ 84. Probabilités des transitions déterminées par des perturbations variables dans le temps .....	370
§ 85. Transitions déterminées par des perturbations indépendantes du temps .....	374

Chapitre XV. RAYONNEMENT, ABSORPTION ET DIFFUSION DE LA LUMIÈRE PAR LES SYSTÈMES ATOMIQUES .....	376
§ 86. Quelques remarques préliminaires.....	376
§ 87. Absorption et émission de la lumière.....	378
§ 88. Coefficients d'émission et d'absorption de la lumière.....	383
§ 89. Principe de correspondance .....	387
§ 90. Règles de sélection pour le rayonnement d'un dipôle.....	390
§ 91. Intensités de rayonnement de spectres d'émission .....	395
§ 92. Théorie de dispersion .....	396
§ 93. Dispersion par effet Raman. Optique non linéaire.....	404
§ 94. Cas où la phase du champ électromagnétique de l'onde varie à l'intérieur de l'atome. Emission quadrupolaire.....	414
§ 95. Effet photoélectrique .....	416
Chapitre XVI. PASSAGE DES MICROPARTICULES À TRAVERS LES BARRIÈRES DE POTENTIEL .....	425
§ 96. Position du problème et étude des cas les plus simples.....	425
§ 97. Pseudo-paradoxe de l'effet tunnel .....	431
§ 98. Auto-émission d'électrons par les métaux .....	433
§ 99. Barrière de potentiel tridimensionnelle. Etats quasi stationnaires .....	436
§ 100. Théorie de la désintégration radioactive $\alpha$ .....	442
§ 101. Ionisation des atomes dans les champs électriques intenses.....	446
Chapitre XVII. PROBLÈME DE PLUSIEURS CORPS.....	450
§ 102. Remarques générales sur le problème de plusieurs corps....	450
§ 103. Loi de conservation de l'impulsion totale d'un système de microparticules .....	455
§ 104. Mouvement du centre de masse d'un système de microparticules .....	457
§ 105. Loi de conservation du moment cinétique d'un système de microparticules .....	460
§ 106. Fonctions propres de l'opérateur du moment cinétique d'un système. Coefficients de Clebsch-Gordon.....	466
§ 107. Relation entre les lois de conservation et la symétrie de l'espace et du temps .....	469
Chapitre XVIII. QUELQUES APPLICATIONS SIMPLES DE LA THÉORIE DE MOUVEMENT DE PLUSIEURS CORPS.....	474
§ 108. Calcul de l'influence exercée par le mouvement du noyau dans l'atome .....	474
§ 109. Etude des systèmes de microparticules effectuant de petites oscillations .....	477
§ 110. Mouvement des atomes dans des champs extérieurs.....	482
§ 111. Détermination de l'énergie des états stationnaires des atomes par la méthode de déviation dans un champ extérieur.....	485
§ 112. Collisions non élastiques d'un électron avec un atome. Détermination de l'énergie des états stationnaires des atomes par la méthode de collision .....	490
§ 113. Loi de conservation de l'énergie et rôle spécifique du temps en mécanique quantique .....	496
Chapitre XIX. SYSTÈMES DE PARTICULES IDENTIQUES.....	499
§ 114. Principe d'identité des microparticules.....	499
§ 115. Etats symétriques et antisymétriques.....	504

§ 116. Particules de Bose et particules de Fermi. Principe de Pauli . . . . .	507
§ 117. Fonctions d'onde des systèmes de particules de Fermi ou de Bose . . . . .	515
<b>Chapitre XX. SECONDE QUANTIFICATION ET STATISTIQUE QUANTIQUE . . . . .</b>	<b>519</b>
§ 118. Seconde quantification . . . . .	519
§ 119. Application de la méthode de seconde quantification à la théorie des transitions quantiques . . . . .	528
§ 120. Hypothèse concernant les collisions. Gaz de Fermi-Dirac et gaz de Bose-Einstein . . . . .	529
<b>Chapitre XXI. ATOMES À PLUSIEURS ÉLECTRONS . . . . .</b>	<b>538</b>
§ 121. Atome d'hélium . . . . .	538
§ 122. Théorie quantitative approchée de l'atome d'hélium . . . . .	547
§ 123. Energie d'échange . . . . .	552
§ 124. Mécanique quantique de l'atome et système périodique des éléments de Mendéléev . . . . .	556
<b>Chapitre XXII. FORMATION DES MOLÉCULES . . . . .</b>	<b>568</b>
§ 125. Molécule d'hydrogène . . . . .	568
§ 126. De la nature des forces de liaison chimiques . . . . .	580
§ 127. Forces de dispersion intermoléculaires . . . . .	584
§ 128. Rôle des spins nucléaires dans les molécules biatomiques . . . . .	588
<b>Chapitre XXIII. PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES . . . . .</b>	<b>590</b>
§ 129. Paramagnétisme et diamagnétisme des atomes . . . . .	590
§ 130. Ferromagnétisme . . . . .	593
<b>Chapitre XXIV. NOYAU ATOMIQUE . . . . .</b>	<b>598</b>
§ 131. Forces nucléaires et spin isotopique . . . . .	598
§ 132. Systématique des états d'un système de nucléons . . . . .	601
§ 133. Théorie du deutéron . . . . .	603
§ 134. Diffusion des nucléons . . . . .	605
§ 135. Effets de polarisation accompagnant la diffusion de particules à spin . . . . .	610
§ 136. Application de la mécanique quantique à la systématique des particules élémentaires . . . . .	612
<b>Chapitre XXV. CONCLUSION . . . . .</b>	<b>616</b>
§ 137. Schéma formel de la mécanique quantique . . . . .	616
§ 138. Formulation de la mécanique quantique selon Feynman . . . . .	620
§ 139. Questions de méthodologie. Fonction d'onde et ensembles quantiques . . . . .	628
§ 140. Quelques questions concernant la causalité . . . . .	635
§ 141. Limites d'application de la mécanique quantique . . . . .	637
<b>ANNEXES . . . . .</b>	<b>642</b>
I. Transformation de Fourier . . . . .	642
II. Fonctions propres dans le cas de dégénérescence . . . . .	644
III. Orthogonalité et normation des fonctions propres d'un spectre continu. Fonction delta . . . . .	646
IV. Signification de la commutativité des opérateurs . . . . .	649
V. Fonctions sphériques $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ . . . . .	651

VI. Equations de Hamilton .....	655
VII. Equation de Schrödinger et équations de mouvement dans un système de coordonnées curvilignes .....	658
VIII. Conditions auxquelles doit satisfaire la fonction d'onde.....	661
IX. Résolution de l'équation de l'oscillateur.....	663
X. Electron dans un champ magnétique homogène .....	667
XI. Coordonnées de Jacobi .....	668
XII. Principe de causalité et propriétés analytiques d'une onde diffusée .....	669
XIII. Fonction de Green de l'équation libre de Schrödinger .....	671
XIV. Calcul de l'interaction d'une microparticule avec un corps macroscopique.....	673