

# Table des matières

<b>Avant-Propos</b>	<b>7</b>
<b>Constantes physiques</b>	<b>13</b>
<b>1 Phénomènes quantiques</b>	<b>15</b>
1 L'expérience de Franck et Hertz . . . . .	17
2 Interférences des ondes de matière . . . . .	20
3 L'expérience de Davisson et Germer . . . . .	24
4 Résumé de quelques idées importantes . . . . .	29
<b>2 La fonction d'onde et l'équation de Schrödinger</b>	<b>33</b>
1 La fonction d'onde . . . . .	35
2 Interférences et principe de superposition . . . . .	36
3 Paquets d'ondes libres . . . . .	40
4 Mesures d'impulsion et relations d'incertitude . . . . .	45
5 L'équation de Schrödinger . . . . .	48
6 Mesure d'impulsion par « temps de vol » . . . . .	50
<b>3 Grandeurs physiques et mesures</b>	<b>55</b>
1 Une mesure en mécanique quantique . . . . .	56
2 Grandeurs physiques et observables . . . . .	58
3 Résultats possibles d'une mesure . . . . .	61
4 Fonctions propres de l'énergie et états stationnaires . . . . .	64
5 Courant de probabilité . . . . .	66
6 Franchissement de barrières de potentiel . . . . .	67
<b>4 Quantification des énergies de systèmes simples</b>	<b>77</b>
1 États liés et états de diffusion . . . . .	77
2 Oscillateur harmonique à une dimension . . . . .	80
3 Puits de potentiel carrés . . . . .	84
4 Conditions aux limites périodiques . . . . .	89
5 Puits double; la molécule d'ammoniac . . . . .	92
6 Applications du modèle du double puits . . . . .	97

<b>5</b>	<b>Principes de la mécanique quantique</b>	<b>103</b>
1	Espace de Hilbert . . . . .	104
2	Opérateurs dans l'espace de Hilbert . . . . .	106
3	Le théorème spectral . . . . .	108
4	Mesure d'une grandeur physique . . . . .	112
5	Principes de la mécanique quantique . . . . .	114
6	Structure de l'espace de Hilbert . . . . .	117
7	Évolution réversible et mesure . . . . .	120
<b>6</b>	<b>Systèmes à deux états</b>	<b>127</b>
1	Espace de Hilbert à deux dimensions . . . . .	128
2	Un exemple familier : la polarisation de la lumière . . . . .	128
3	Le modèle de la molécule d'ammoniac . . . . .	132
4	Molécule $\text{NH}_3$ dans un champ électrique . . . . .	135
5	Champ oscillant et effet maser . . . . .	140
6	Principe et applications du maser . . . . .	142
<b>7</b>	<b>Commutation des observables</b>	<b>147</b>
1	Relations de commutation . . . . .	148
2	Relations d'incertitude . . . . .	149
3	Théorème d'Ehrenfest . . . . .	150
4	Observables qui commutent . . . . .	154
5	L'oscillateur harmonique . . . . .	159
<b>8</b>	<b>L'expérience de Stern et Gerlach</b>	<b>169</b>
1	Le principe de l'expérience . . . . .	169
2	La description quantique du problème . . . . .	173
3	Les observables $\hat{\mu}_x$ et $\hat{\mu}_y$ . . . . .	175
4	Discussion . . . . .	177
5	Description complète de l'atome . . . . .	180
6	Évolution de l'atome dans un champ magnétique . . . . .	183
7	Conclusion . . . . .	187
<b>9</b>	<b>Méthodes d'approximation</b>	<b>189</b>
1	Méthode des perturbations . . . . .	189
2	La méthode variationnelle . . . . .	195
<b>10</b>	<b>Le moment cinétique</b>	<b>201</b>
1	Relations de commutation . . . . .	202
2	Valeurs propres du moment cinétique . . . . .	202
3	Le moment cinétique orbital . . . . .	208
4	Moment cinétique et moment magnétique . . . . .	213
<b>11</b>	<b>Première description des atomes</b>	<b>219</b>
1	Système à deux corps – Mouvement relatif . . . . .	220

2	Mouvement dans un potentiel central . . . . .	222
3	L'atome d'hydrogène . . . . .	227
4	Atomes hydrogénoïdes . . . . .	236
5	Atomes muoniques . . . . .	236
6	Spectre des alcalins . . . . .	238
<b>12</b>	<b>Spin 1/2 et résonance magnétique</b>	<b>243</b>
1	Espace de Hilbert du spin 1/2 . . . . .	245
2	Description complète d'une particule de spin 1/2 . . . . .	247
3	Moment magnétique de spin . . . . .	248
4	Variables d'espace et de spin non corrélées . . . . .	251
5	La résonance magnétique . . . . .	251
<b>13</b>	<b>Addition des moments cinétiques</b>	<b>263</b>
1	Addition des moments cinétiques . . . . .	264
2	Structure fine . . . . .	272
3	Raie à 21 cm de l'hydrogène . . . . .	275
<b>14</b>	<b>Etats intriqués, Paradoxe EPR</b>	<b>287</b>
1	Le paradoxe EPR . . . . .	288
2	La cryptographie quantique . . . . .	296
3	L'ordinateur quantique . . . . .	301
<b>15</b>	<b>Lagrangien et hamiltonien</b>	<b>307</b>
1	Formalisme lagrangien et principe de moindre action . . . . .	308
2	Formalisme canonique de Hamilton et Jacobi . . . . .	311
3	Mécanique analytique et mécanique quantique . . . . .	313
4	Particule dans un champ électromagnétique . . . . .	315
5	Force de Lorentz en mécanique quantique . . . . .	316
<b>16</b>	<b>Particules identiques</b>	<b>323</b>
1	L'indiscernabilité de deux particules identiques . . . . .	324
2	Système de deux particules ; opérateur d'échange . . . . .	326
3	Principe de Pauli . . . . .	328
4	Conséquences physiques . . . . .	331
<b>17</b>	<b>Evolution des systèmes</b>	<b>345</b>
1	Perturbations dépendant du temps . . . . .	346
2	Interaction d'un atome avec une onde lumineuse . . . . .	349
3	Désintégration d'un système . . . . .	356
4	Relation d'incertitude temps-énergie . . . . .	363
<b>18</b>	<b>Processus de collision</b>	<b>369</b>
1	Notion de section efficace . . . . .	370
2	Calcul quantique à l'approximation de Born . . . . .	373
3	Exploration des systèmes composés . . . . .	379

4	Théorie générale de la diffusion . . . . .	384
5	Diffusion à basse énergie . . . . .	388
<b>19</b>	<b>Physique qualitative</b>	<b>393</b>
1	Particule confinée et énergie de l'état fondamental . . . . .	394
2	Forces gravitationnelles et électrostatiques . . . . .	398
3	Catastrophe gravitationnelle . . . . .	404
<b>20</b>	<b>Historique de la mécanique quantique</b>	<b>409</b>
1	L'origine des concepts quantiques . . . . .	409
2	Le spectre atomique . . . . .	410
3	Le spin . . . . .	412
4	La mécanique quantique matricielle . . . . .	413
5	La mécanique ondulatoire . . . . .	415
6	La formalisation . . . . .	415
7	Quelques repères dans l'histoire récente . . . . .	416
<b>A</b>	<b>Notions sur les probabilités</b>	<b>419</b>
1	Notions fondamentales . . . . .	419
2	Exemples de lois de probabilités . . . . .	420
3	Variables aléatoires . . . . .	421
4	Moments d'une distribution de probabilité . . . . .	423
<b>B</b>	<b>Distribution de Dirac, transformée de Fourier</b>	<b>427</b>
1	Distribution de Dirac ou « fonction » $\delta$ . . . . .	427
2	Distributions . . . . .	429
3	Transformation de Fourier . . . . .	432
<b>C</b>	<b>Opérateurs en dimension infinie</b>	<b>437</b>
1	Eléments de matrice d'un opérateur . . . . .	437
2	Bases continues . . . . .	438
<b>D</b>	<b>L'opérateur densité</b>	<b>443</b>
1	Etats purs . . . . .	444
2	Mélanges statistiques . . . . .	447
3	Exemples d'opérateurs densité . . . . .	449
4	Systèmes intriqués . . . . .	452
<b>E</b>	<b>Solutions des exercices</b>	<b>455</b>