

---

## Table des matières

<b>1. La quantification de grandeurs physiques</b> .....	1
1.1 Quanta de lumière .....	1
1.2 L'effet photoélectrique .....	1
1.3 L'effet Compton .....	3
1.4 Le principe de combinaison de Ritz .....	4
1.5 L'expérience de Franck–Hertz .....	5
1.6 L'expérience de Stern et Gerlach .....	5
1.7 Notes biographiques .....	6
<b>2. Les lois du rayonnement</b> .....	11
2.1 Aperçu du rayonnement des corps .....	11
2.2 Quel est le rayonnement dans une cavité? .....	12
2.3 La loi de rayonnement de Rayleigh–Jeans : Les modes propres électromagnétiques d'une cavité .....	16
2.4 Loi de Planck .....	18
2.5 Notes biographiques .....	29
<b>3. Aspects ondulatoires de la matière</b> .....	31
3.1 Ondes de de Broglie .....	31
3.2 Diffraction des ondes de matière .....	36
3.3 L'interprétation statistique des ondes de matière .....	40
3.4 Valeurs moyennes en mécanique quantique .....	46
3.5 Trois opérateurs de la mécanique quantique .....	49
3.6 Le principe de superposition en mécanique quantique .....	51
3.7 Le principe d'incertitude de Heisenberg .....	54
3.8 Notes biographiques .....	68
<b>4. Bases mathématiques de la mécanique quantique</b> .....	71
4.1 Propriétés des opérateurs .....	71
4.2 Combinaison de deux opérateurs .....	72
4.3 Notations de Dirac : Bra et Ket .....	73
4.4 Valeurs propres et fonctions propres .....	74
4.5 Mesure simultanée d'observables différentes .....	81
4.6 Opérateurs position et quantité de mouvement .....	83
4.7 Relations d'incertitude de Heisenberg pour des observables quelconques .....	84

4.8	Opérateur moment cinétique .....	86
4.9	Énergie cinétique .....	90
4.10	Énergie totale .....	90
4.11	Notes biographiques .....	108
<b>5.</b>	<b>Complément mathématique .....</b>	<b>111</b>
5.1	Différentielles propres et la normalisation des fonctions propres pour des spectres continus .....	111
5.2	Développement en fonctions propres .....	114
<b>6.</b>	<b>L'équation de Schrödinger .....</b>	<b>123</b>
6.1	Conservation du nombre de particules en mécanique quantique .....	150
6.2	États stationnaires .....	152
6.3	Propriétés des états stationnaires .....	153
6.4	Notes biographiques .....	160
<b>7.</b>	<b>L'oscillateur harmonique .....</b>	<b>163</b>
7.1	La solution de l'équation de l'oscillateur .....	169
7.2	La description de l'oscillateur harmonique par les opérateurs de création et d'annihilation .....	179
7.3	Propriétés des opérateurs $\hat{a}$ et $\hat{a}^+$ .....	180
7.4	Représentation du hamiltonien de l'oscillateur en termes de $\hat{a}$ et $\hat{a}^+$ .....	181
7.5	Interprétation de $\hat{a}$ et $\hat{a}^+$ .....	182
7.6	Notes biographiques .....	188
<b>8.</b>	<b>Transition de la mécanique classique à la mécanique quantique ..</b>	<b>191</b>
8.1	Déplacement des valeurs moyennes .....	191
8.2	Théorème d'Ehrenfest .....	192
8.3	Constantes du mouvement, lois de conservation .....	193
8.4	Quantification en coordonnées curvilignes .....	196
8.5	Notes biographiques .....	209
<b>9.</b>	<b>Particules chargées dans des champs magnétiques .....</b>	<b>211</b>
9.1	Couplage au champ électromagnétique .....	211
9.2	L'atome d'hydrogène .....	223
9.3	Densités électroniques à trois dimensions .....	229
9.4	Le spectre des atomes d'hydrogène .....	232
9.5	Courants dans l'atome d'hydrogène .....	234
9.6	Le moment magnétique .....	235
9.7	Atomes hydrogénoïdes .....	236
9.8	Notes biographiques .....	250
<b>10.</b>	<b>Les fondements mathématiques de la mécanique quantique II ...</b>	<b>253</b>
10.1	Représentations position, impulsion et énergie .....	253
10.2	Représentation d'opérateurs .....	257
10.3	Le problème des valeurs propres .....	266

10.4	Transformations unitaires	268
10.5	La matrice $S$	270
10.6	L'équation de Schrödinger sous forme matricielle	272
10.7	Le point de vue de Schrödinger	275
10.8	Le point de vue de Heisenberg	275
10.9	Image d'interaction	276
10.10	Notes biographiques	277
<b>11.</b>	<b>Théorie des perturbations</b>	<b>279</b>
11.1	Théorie des perturbations stationnaires	279
11.2	Dégénérescence	283
11.3	Méthode variationnelle de Ritz	298
11.4	Théorie des perturbations dépendante du temps	301
11.5	Perturbation constante sur un intervalle de temps	306
11.6	Transitions entre états du continuum	308
11.7	Notes biographiques	333
<b>12.</b>	<b>Spin</b>	<b>335</b>
12.1	Dédoublage de raies spectrales	336
12.2	L'expérience d'Einstein-de Haas	338
12.3	Description mathématique du spin	339
12.4	Fonctions d'onde avec spin	342
12.5	L'équation de Pauli	345
12.6	Notes biographiques	358
<b>13.</b>	<b>Une équation d'onde non-relativiste avec spin</b>	<b>361</b>
13.1	La linéarisation de l'équation de Schrödinger	361
13.2	Particules dans un champ externe et le moment magnétique	369
13.3	Notes biographiques	372
<b>14.</b>	<b>Aspects élémentaires du problème à plusieurs corps</b>	<b>373</b>
14.1	Conservation de l'impulsion totale d'un système de particules	377
14.2	Mouvement du centre de masse d'un système de particules en mécanique quantique	379
14.3	Conservation du moment angulaire total dans un système à plusieurs corps	383
14.4	Petites oscillations dans un système à plusieurs particules	396
14.5	Notes biographiques	407
<b>15.</b>	<b>Particules identiques</b>	<b>409</b>
15.1	Le principe de Pauli	411
15.2	Dégénérescence d'échange	411
15.3	Le déterminant de Slater	413
15.4	Notes biographiques	427

<b>16. Le cadre formel de la mécanique quantique</b> .....	429
16.1 Les bases mathématiques de la mécanique quantique – espace de Hilbert .....	429
16.2 Opérateurs dans l'espace de Hilbert .....	432
16.3 Valeurs propres et vecteurs propres .....	433
16.4 Opérateurs avec des spectres continus ou discrets-continus (mixtes) .....	437
16.5 Fonctions d'opérateur .....	439
16.6 Transformations unitaires .....	442
16.7 L'espace de produit direct .....	443
16.8 Les axiomes de la mécanique quantique .....	444
16.9 Particules libres .....	447
16.10 Résumé de la théorie des perturbations .....	461
<b>17. Problèmes conceptuels et philosophiques de la mécanique quantique</b> .....	465
17.1 Déterminisme .....	465
17.2 Localité .....	466
17.3 Théories des variables cachées .....	468
17.4 Théorème de Bell .....	471
17.5 Théorie de la mesure .....	474
17.6 Le chat de Schrödinger .....	478
17.7 Théories subjectives .....	478
17.8 Mesures classiques .....	479
17.9 L'interprétation de Copenhague .....	480
17.10 Enregistrement indélébile .....	480
17.11 L'Univers dédoublé .....	483
17.12 Le problème de la réalité .....	484
<b>Index</b> .....	487