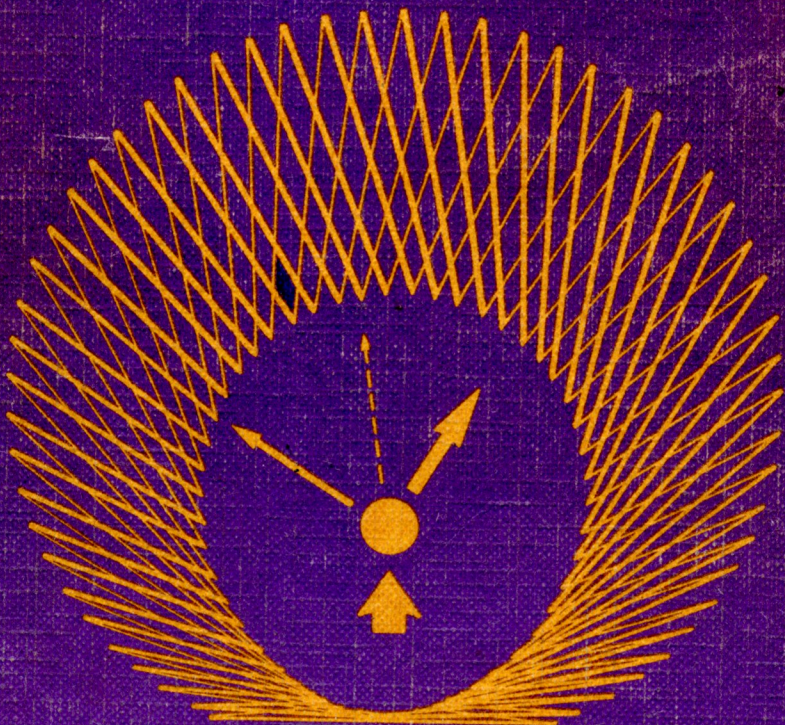

MÉCANIQUE QUANTIQUE

TRAVAUX DIRIGÉS

A. TELLEZ-ARENAS



MASSON 



A.53-182 EX.1



MÉCANIQUE QUANTIQUE TRAVAUX DIRIGÉS

PAR

A. TELLEZ-ARENAS
Université d'Orléans

MASSON

Paris New York Barcelone Milan

1976

TABLE DES MATIÈRES

| | 1 | Énon- cés | Solu- tions |
|---|----|--------------|----------------|
| CHAPITRE I. — Observables | 1 | | |
| 1. <i>Mécanique classique : fonction de Lagrange</i> | | 3 | 5 |
| 2. <i>Mécanique classique : fonction de Hamilton</i> | | 3 | 7 |
| 3. <i>Mécanique quantique : observables</i> | | 3 | 9 |
| 3. a. Règles de construction. — 3. b. Particule chargée dans un champ électromagnétique. — 3. c, d. Modèle vibrant : hamiltonien, moment cinétique orbital. | | | |
| CHAPITRE II. — Paquets d'ondes | 18 | | |
| a. Relation de de Broglie. — b. Évolution des valeurs moyennes. — c. Relations d'incertitude. — d. Paquet minimum. — e. Élargissement. | | 19 | 21 |
| CHAPITRE III. — Problèmes à une dimension | 29 | | |
| a. État lié ou non; dégénérescence. — b. Symétrie du potentiel et des fonctions d'onde. — c. Saut de potentiel; coefficient de transmission. — d. Barrière de potentiel. — e. Potentiel périodique de Kronig-Penney | | 30 | 32 |
| CHAPITRE IV. — Formalisme général | 42 | | |
| 1. <i>Propriétés générales</i> | | 42 | 46 |
| 2. <i>Description de la mesure</i> | | 42 | 51 |
| 2. a. Généralités. — 2. b. Description d'une expérience particulière. | | | |
| 3. <i>Opérateurs</i> | | 44 | 56 |
| 3. a, b, c, d, e, f, g, h. Exercices. | | | |
| CHAPITRE V. — Descriptions et représentations | 66 | | |
| 1. <i>Descriptions</i> | | 66 | 71 |
| 1. a. Description de Schrödinger. — 1. b. Relation du viriel. — 1. c. Exercices. — 1. d. Description de Heisenberg. — 1. e, f, g. Exercices. — 1. h. Description intermédiaire | | | |
| 2. <i>Représentations</i> | | 68 | 79 |
| 2. a. Généralités. — 2. b, c, d. Exercices. — 2. e. Fonction de Green; élargissement d'un paquet d'ondes. — 2. f. Conséquence de l'élargissement. — 2. g. Relation de Thomas, Reiche et Kuhn. — <i>Appendice</i> : fonction delta de Dirac. | | | |

| | Énon- cés | Solu- tions |
|---|--------------|----------------|
| CHAPITRE VI. — Potentiel central. Interaction coulombienne | 95 | |
| 1. <i>Propriétés générales</i> | 96 | 101 |
| 1 <i>a.</i> Conséquence de la symétrie sphérique. — 1 <i>b.</i> Équation radiale. — 1 <i>c.</i> Énergies relatives des états liés. | | |
| 2. <i>Potentiels constants</i> | 96 | 106 |
| 2 <i>a.</i> Particule libre. — 2 <i>b.</i> Puits carré. — 2 <i>c.</i> Nombre d'états liés dans un puits carré. — 2 <i>d.</i> Cas du deuton. — 2 <i>e.</i> Désintégration alpha. | | |
| 3. <i>Interaction coulombienne</i> | 100 | 117 |
| 3 <i>a.</i> Atomes hydrogénoïdes; généralités. — 3 <i>b, c.</i> Exercices. — 3 <i>d.</i> Valeur moyenne : $\langle r^s \rangle$. | | |
| CHAPITRE VII. — Oscillateur harmonique | 123 | |
| 1. <i>Énergies et états propres</i> | 123 | 131 |
| 1 <i>a, b, c, d.</i> Généralités | | |
| 2. <i>Oscillateur à une dimension</i> | 125 | 138 |
| 2 <i>a, b.</i> Coefficient de normalisation; énergie fondamentale. — 2 <i>c, d, e.</i> Utilisation des opérateurs η et η^+ . — 2 <i>f.</i> Oscillateur chargé dans un champ électrique. — 2 <i>g, h, i, j.</i> Paquets d'ondes. | | |
| 3. <i>Oscillateurs couplés</i> | 128 | 150 |
| 4. <i>Oscillateurs à plusieurs dimensions</i> | 129 | 152 |
| 4 <i>a.</i> A deux dimensions : atome d'hydrogène. — 4 <i>b.</i> Utilisation de la relation $[A, B] = i$. — 4 <i>c.</i> A trois dimensions : valeurs possibles du moment cinétique orbital. | | |
| CHAPITRE VIII. — Moments cinétiques | 158 | |
| 1. <i>Moments cinétiques et rotations</i> | 160 | 172 |
| 1 <i>a, b, c.</i> Moment orbital, spin, moments cinétiques. | | |
| 2. <i>Propriétés générales</i> | 162 | 180 |
| 2 <i>a.</i> Spin 1. — 2 <i>b.</i> Système du centre de masse : moments orbitaux. — 2 <i>c.</i> Parité des harmoniques sphériques. — 2 <i>d.</i> Écarts quadra- tiques. — 2 <i>e.</i> Produit scalaire de deux opérateurs vectoriels. — 2 <i>f, g, h.</i> Utilisation des opérateurs j_+ et j_- . — 2 <i>i, j.</i> Propriétés des opérateurs σ de Pauli. — 2 <i>k.</i> Terme tenseur de l'interaction nucléaire. — 2 <i>l.</i> Mesure du spin dans une direction \vec{u} . | | |
| 3. <i>Moments cinétiques et champs magnétiques</i> | 166 | 194 |
| 3 <i>a.</i> Magnéton nucléaire et magnéton de Bohr. — 3 <i>b.</i> Hamiltonien atomique. — 3 <i>c, d.</i> Particules dans un champ magnétique. | | |
| 4. <i>Évolution des états dans le temps</i> | 168 | 199 |
| 4 <i>a.</i> Électron dans un champ magnétique variable. — 4 <i>b.</i> Évolution du vecteur polarisation. — 4 <i>c.</i> Faisceau de neutrons dans un champ magnétique. — 4 <i>d.</i> Diffusion de particules. — 4 <i>e.</i> Particule dans un champ magnétique tournant. — 4 <i>f.</i> Expérience de Stern-Gerlach. | | |

| | Énon- cés | Solu- tions |
|---|--------------|----------------|
| CHAPITRE IX. — Couplage de deux moments cinétiques | 212 | |
| 1. Coefficients de couplage | 213 | 222 |
| 1. a. Propriétés générales. — 1. b. Couplage de j et $\frac{1}{2}$. — 1. c. Couplage de j et 1. | | |
| 2. Conséquences physiques | 214 | 233 |
| 2. a, b. Interaction $\sigma_1\sigma_2$. — 2. c. Moment magnétique du deuton. — 2. d. Opérateur $(\sigma_1\sigma_2)^n$. — 2. e. Interaction dipôle-dipôle. — 2. f. Terme tenseur en fonction des harmoniques sphériques. — 2. g, h. Variables angulaires et mesure de spin. — 2. i. Projecteurs sur les états $j = l \pm \frac{1}{2}$. — 2. j, k. Atome d'hydrogène dans un champ magnétique. — 2. l. Moment magnétique nucléaire dans un modèle en couches. — 2. m. Interaction hyperfine dans l'hamiltonien atomique. — 2. n. Formule de Breit-Rabi. | | |
| 3. Opérateurs vectoriels; théorème de Wigner-Eckart | 219 | 254 |
| 3. a. Théorème de projection. — 3. b. Théorème de Wigner-Eckart : règles de sélection. — 3. c. Éléments de matrice réduits. — 3. d. Coefficient de Landé. — 3. e. Opérateurs tensoriels irréductibles. | | |
| CHAPITRE X. — Rotations | 262 | |
| 1. Transformations induites par une rotation | 264 | 270 |
| 1. a. Transformation d'une composante d'un opérateur vectoriel. — 1. b. Relations entre opérateurs de rotation. — 1. c. Changement d'axe de référence et vecteurs propres de moments cinétiques. — 1. d, e. Rotations d'angles 2π et π . — 1. f, g. Opérateurs de rotation : généralités. — 1. h. Rotation des harmoniques sphériques. — 1. i. Rotation d'un spineur. — 1. j. Relations de commutation dans un repère mobile. | | |
| 2. Matrices de rotation | 267 | 281 |
| 2. a. Propriétés générales. — 2. b. Cas $J = 1$. — 2. c. Matrices de rotation et couplage de moments cinétiques. — 2. d. Relations entre éléments de matrice et harmoniques sphériques. | | |
| 3. Applications | 269 | 287 |
| 3. a. Mesure de spin. — 3. b. Expérience de Stern-Gerlach. — 3. c. Variables angulaires et mesure de spin. — 3. d. Spin dans un champ magnétique de direction variable. | | |
| CHAPITRE XI. — Méthodes d'approximation | 293 | |
| 1. Méthode variationnelle | 294 | 304 |
| 1. a. Oscillateur harmonique. — 1. b. Atome à deux électrons. — 1. c. Stabilité d'une molécule. | | |
| 2. Perturbations stationnaires | 296 | 311 |
| 2. a, b, c. Généralités. — 2. d. Oscillateur anharmonique. — 2. e. Oscillateur chargé dans un champ électrique. — 2. f. Oscillateurs couplés. — 2. g. Discussion de l'approximation dans un cas particulier. — 2. h. Atome hydrogénoïde de noyau émetteur β . — 2. i. Déplacements iso- | | |

| | Énon- cés | Solu- tions |
|--|--------------|----------------|
| topiques. — 2. <i>j</i> . Rotateur rigide. — 2. <i>k, l, m</i> . Atome d'hydrogène dans un champ magnétique. — 2. <i>n</i> . Structure fine dans un champ extérieur. — 2. <i>o, p</i> . Atome d'hydrogène dans un champ électrique. — 2. <i>q</i> . Interaction de Van der Waals. — 2. <i>r</i> . Perturbation de niveaux quasidégradés : électron dans un potentiel périodique. | | |
| 3. <i>Perturbations dépendant du temps</i> | 301 | 340 |
| 3. <i>a, b, c</i> . Généralités. — 3. <i>d</i> . Particules dans un champ magnétique tournant. — 3. <i>e</i> . Oscillateur chargé dans un champ électrique variable. — 3. <i>f</i> . Règle d'or de Fermi. — 3. <i>g</i> . Probabilité de diffusion d'une particule. — 3. <i>h</i> . Densités d'états finals. | | |
| CHAPITRE XII. — Particules identiques | 349 | |
| 1. <i>Postulat de symétrisation</i> | 350 | 355 |
| 1. <i>a, b</i> . Nécessité d'un nouveau postulat. Principe d'exclusion de Pauli. | | |
| 2. <i>Conséquences: solides, atomes, noyaux</i> | 351 | 361 |
| 2. <i>a</i> . Échauffement d'un gaz d'électrons. — 2. <i>b</i> . Conduction d'un cristal parfait. — 2. <i>c</i> . Structure atomique : configurations, termes spectraux, structures fine et hyperfine. — 2. <i>d</i> . Dégénérescence des configurations fondamentales de l'hélium et du carbone : termes spectraux. — 2. <i>e</i> . Modèle en couches du noyau. — 2. <i>f</i> . Isospin : états possibles du noyau deuton. — 2. <i>g</i> . Opérateurs de construction et de destruction de bosons et de fermions. | | |