



COLLECTION
COURS UNIVERSITAIRES

physique

Amel Kara-Hachemi

Hacene Hachemi

Eléments de physique

Quantique

OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

SOMMAIRE

CHAPITRE I

INTRODUCTION A LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

1) Comportement quantique

- 1-1) Transposition onde —————→ particule.
- 1-2) Transposition particule —————→ onde.
- 1-3) Conclusion
- 1-4) Remarque

2) Constante de Planck

3) Conclusion

CHAPITRE II

ÉLÉMENTS MATHÉMATIQUES

Introduction

I- Espace de Hilbert

- 1) Rappel sur l'espace vectoriel
- 2) Espace de Hilbert

II- Propriétés de H

- 1) Produit scalaire.
- 2) Norme de la fonction d'onde Ψ_n
- 3) Fonctions orthonormées
- 4) Base de H
- 5) Base orthonormée
- 6) Fonction de Dirac
- 7) Base à indice continu
- 8) Comparaison des bases à indices discret et continu
- 9) Bases mixtes

VI

III- Opérateurs linéaires

- 1) Définition
- 2) Propriétés des opérateurs
- 3) Commutateurs
- 4) Espace d'état d'un opérateur
- 5) Équation d'état d'un opérateur. (valeur propre, dégénérescence)

IV- Bras et Kets

- 1) Définitions
 - 1-1) Bras - Kets
 - 1-2) Produit scalaire
 - 1-3) Correspondance bra $\leftrightarrow$ Ket
- 2) Notation de Dirac.
- 3) Représentation Matricielle
 - 3-1) Représentation $\{|r\rangle\}$ et $\{|k\rangle\}$
 - 3-2) Représentation matricielle pour les kets
 - 3-3) Représentation matricielle pour les bras
 - 3-4) Représentation matricielle pour les opérateurs
 - a) Représentation
 - b) Trace d'un opérateur
 - 3-5) Conservation de l'algèbre des matrices
 - 3-6) Projecteurs
 - 3-7) Le produit tensoriel d'espaces vectoriels

V- Observables

Recherches des valeurs et vecteurs propres d'une observable

- 1) Observables
 - a) Définition
 - b) Propriétés
- 2) Recherches des valeurs et vecteurs propres
 - 2-1) Pour une observable
 - a) Valeurs propres
 - b) Vecteurs propres
 - 2-2) Ensembles d'observables qui commutent
 - a) Système orthonormé complet (SOC)
 - b) Ensemble complet d'observables qui commutent (ECOC)

CHAPITRE III AXIOMES ET PRINCIPES

Introduction

I- Postulats généraux et postulat d'interprétation

1) Postulats généraux

1-1 Existence de la fonction d'onde $\Psi(r, t)$

a) Postulat n°1

b) Commentaire

1-2) Opérateur de mesure

a) Postulat n°2

b) Commentaire

2) Postulats d'interprétation.

a) a-1 Postulat n°3

a-2 Commentaire

b) b-1 Postulat n°4

b-2 Commentaire

c) c-1 Postulat n°5

c-2 Commentaire.

II- Postulats cinématique

1) Postulat 1

2) Postulat 2

3) Commentaire

III- Postulats dynamique

1) Postulat

2) Commentaire

IV- Applications des postulats :

1) Inégalité de Heisenberg

a) Valeur moyenne d'une observable

b) Dispersion de mesure

c) Inégalité de Heisenberg

VIII

- d) Signification de la relation d'incertitude
 - Temps / énergie
 - Position / Impulsion
 - e) Évolution des valeurs moyennes d'une observable
 - théorème d'Erenfest
 - Conclusion.
- 2) Équation de Schrodinger
- a) Équation Schrodinger indépendante du temps
 - b) Équation Schrodinger dépendante du temps
 - b-1) Opérateur d'évolution
 - b-2) État stationnaire
 - b-3) Résolution de l'équation
 - c) Équation différentielle pour $U(t, t_0)$.
 - d) Le propagateur de l'équation de Schrodinger
- 3) Représentation de Schrodinger, Heisenberg et représentation intermédiaire.
- a) Représentation de Schrodinger
 - a-1) Définition
 - a-2) Évolution des états et des opérateurs
 - b) Représentation de Heisenberg
 - b-1) Définition
 - b-2) Équation de Heisenberg
 - c) Exemples
 - d) Représentation intermédiaire
 - d-1) Définition
 - d-2) Évolution des Kets
 - d-3) Évolution des opérateurs
- 4) Courant de probabilité de présence
- a) Introduction
 - b) Équation de continuité

IX

CHAPITRE IV MÉTHODE D'OBTENTION DES ÉTATS PROPRES ÉQUATION DE SCHRODINGER À UNE DIMENSION

Introduction

- 1) Spectre de l'hamiltonien
- 2) Problèmes de la mécanique quantique
- 3) Effet tunnel
- 4) Méthode générale de résolution de l'équation de Schrodinger
- 5) Exemples
 - 5-1) Barrière de potentiel
 - 5-2) Puit de potentiel

CHAPITRE V OSCILLATEUR HARMONIQUE

I- Oscillateur harmonique à une dimension

- 1) Introduction
- 2) Hamiltonien quantique en unité naturelle
Équation réduite
- 3) Opérateur a , a^+ et N
 - a) Définition
 - b) Relation de commutation
 - d) L'opérateur N
- 4) Spectre de l'hamiltonien
Remarque
- 5) États propres de l'hamiltonien
 - 5-1) Construction des kets propres normés à partir du vide ($n=0$)
 - 5-2) Action des opérateurs a et a^+ sur les états propres.

X

Remarque

6) Fonctions propres en représentation $\{Q\}$

6-1) Propriétés des fonctions propres

6-2) Expression des fonctions propres

a) L'état fondamental

b) Les états excités

c) Conclusion

II- Oscillateur harmonique isotrope à plusieurs dimensions.

1) Généralités

2) Résolution de l'équation aux valeurs propres de H.

a) Kets propres

b) Valeurs propres

3) Exemples à deux dimensions

CHAPITRE VI LES MOMENTS CINÉTIQUES

Introduction

I- Moment cinétique orbital ou moment angulaire.

1) Définition

2) Algèbre des relations de commutation.

a) Relation de commutation de L avec les composantes de R.

b) Relation de commutation de L avec les composantes de P

c) Relations de commutation de L avec les composantes de L

Remarque.

II- Moment cinétique

1) Définitions générales

2) Relations caractéristiques pour J

3) Équations aux valeurs et vecteurs propres de J^2 et J_z .

4) Propriétés des valeurs propres de J^2 et J_z .

XI

5) Représentation standard.

5-1) Définition

5-2) Sous espace $\xi(\alpha_j)$.

5-3) Matrice de représentation de l'opérateur Moment cinétique j dans $\xi(\alpha_j)$.

III- Fonctions propres du moment orbital: les harmoniques sphériques

1) Généralités.

2) Fonctions propres de L_z .

3) Fonctions propres de L^2 .

IV- Le spin.

1) Mise en évidence expérimentale.

2) Propriétés de l'observable spin.

2-1) Règles de commutations

2-2) Espace des spineurs.

2-3) Matrice de Pauli

2-4) Propriétés des matrices de Pauli.

3) Spin d'une particule élémentaire.

3-1) Généralités.

3-2) Système de particules identiques

a) Définition

b) Bosons et fermions

4) Principes d'exclusion de Pauli

Conclusion