

## Préface

La mécanique quantique, proposée en 1925 et 1926 par Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et Paul Dirac, a maintenant presque cent ans. À la base de la technologie moderne, elle a donné lieu à d'innombrables applications en physique, en chimie et même en biologie. De nombreux ouvrages y ont été consacrés, en plusieurs langues et sous différentes perspectives, certains visant les étudiants débutants et les enseignants, d'autres les chercheurs avancés.

Le professeur Sakho a choisi de s'adresser aux premiers, en établissant le lien entre le quart de siècle qui a précédé l'avènement de la mécanique quantique et les premiers résultats de celle-ci. L'ouvrage est divisé en deux volumes. Le premier porte sur le rayonnement thermique et les faits expérimentaux ayant révélé la quantification de la matière. Le second est consacré à l'équation de Schrödinger et ses applications, aux opérateurs hermitiens et aux notations de Dirac.

Par la présentation claire et détaillée des notions abordées, l'ouvrage révèle une constante préoccupation pédagogique. Son originalité se situe particulièrement dans les différents angles d'approche utilisés tout au long des chapitres :

- les nombreux exercices résolus sont partie intégrante du cours et complètent l'exposé de manière concrète ;
- la présentation des dispositifs expérimentaux va bien au-delà de schémas idéalisés et illustre la nature du travail de laboratoire ;
- des notions plus avancées (semi-conducteurs, effets relativistes dans l'hydrogène, déplacement de Lamb, etc.) sont présentées de façon succincte et toujours en lien avec les concepts plus fondamentaux.

Les encadrés biographiques donnent au sujet un côté humain et invitent le lecteur à situer le développement de la théorie dans un contexte historique.

L'ouvrage se clôt sur une bibliographie et un index détaillé.

La science est un élément clé de la culture contemporaine. Il faut souligner le travail des chercheurs francophones qui mettent à la disposition des élèves les livres nécessaires à leur apprentissage. Les étudiants du premier cycle universitaire et les enseignants accueilleront celui-ci avec profit. Souhaitons-lui une large diffusion.

Louis MARCHILDON  
Professeur émérite  
Université du Québec à Trois-Rivières

## Avant-propos

La mécanique quantique ou physique de l'infiniment petit (microcosme) est souvent opposée à la mécanique classique ou physique des corps macroscopiques (macrocosme). C'est ainsi que cet ouvrage intitulé *Introduction à la mécanique quantique 2* vise à donner au lecteur les outils de base indispensables pour une bonne compréhension des propriétés physiques des atomes, des noyaux, des molécules, des lasers, des solides, des matériaux de l'électronique, bref, de tout l'infiniment petit. Généralement, dans un cours introductif de la mécanique quantique, l'objet porte principalement sur l'étude de l'interaction matière-rayonnement et des états quantifiés de la matière.

Dans cet ouvrage, l'accent est mis sur les différentes expériences ayant conduit à la découverte de l'ensemble des phénomènes physiques liés aux propriétés des systèmes quantiques. C'est ainsi que ce présent travail est composé de sept chapitres répartis en deux volumes. Chaque chapitre débute par une présentation de l'objectif général visé, puis d'une liste d'objectifs spécifiques, et enfin, d'une liste de prérequis nécessaires pour une bonne compréhension des concepts introduits. De plus, chaque loi introduite fait suite à une application simple. Divers exercices riches, variés et corrigés sont placés à la fin de chaque chapitre étudié pour une bonne assimilation de tous les concepts introduits. En outre, une biographie sommaire de chacun des penseurs ayant contribué à la découverte de lois ou de phénomènes physiques étudiés est donnée en marge du déroulement du chapitre. Ce qui permettra au lecteur d'avoir une bonne culture scientifique relative à l'évolution de la pensée scientifique lors de l'élaboration de la mécanique quantique. La structuration et l'approche pédagogique adoptées dans ce travail font de cet ouvrage un livre moderne et très original. Le volume 1 [SAK 20] est dédié à l'étude des quatre premiers chapitres portant sur le rayonnement thermique et sur les faits expérimentaux ayant révélé la quantification de la matière.

Le volume 2 est consacré aux trois derniers chapitres portant respectivement sur l'étude de l'équation de Schrödinger et applications, sur les opérateurs hermitiens et sur les notations de Dirac.

Le **chapitre 1** est réservé à l'étude de l'évolution des fonctions d'ondes décrite par l'équation de Schrödinger suivie de quelques applications pour introduire notamment les *puits de potentiel*, *marche de potentiel*, *facteur de réflexion* et *transmission* des ondes, *barrière de potentiel*, *effet tunnel* et *confinement 0D* à travers l'étude des *boîtes quantiques*.

Au **chapitre 2** sont introduits les outils de base relatifs au formalisme mathématique de la mécanique quantique. C'est ainsi que sont étudiées dans ce chapitre les propriétés des *bases orthonormées* dans l'espace des fonctions d'onde de carré sommable, les *notations de Dirac* relatives aux *vecteurs kets* et aux *vecteurs bras* dans l'espace des états. De plus, sont introduits dans le chapitre les notions d'*opérateur linéaire*, d'*opérateur hermitien*, d'*observable*, de *conjugaison hermitienne* et de *commutateur*.

Le **chapitre 3** est dédié à l'étude des valeurs propres et vecteurs propres d'une observable. Ce qui permet d'introduire la notion de *représentation* des kets, des bras et des opérateurs, de passer du *calcul vectoriel* dans l'espace des fonctions d'onde de carré sommable au *calcul matriciel* dans l'espace des états. Par la suite, l'exposé porte sur l'introduction de l'équation aux *valeurs propres* d'un opérateur et de l'équation *caractéristique* (ou *équation séculaire*) permettant de déterminer les valeurs propres d'un opérateur à partir d'une représentation matricielle. Enfin, le chapitre est bouclé par la définition de la valeur *moyenne d'une observable* et de l'établissement de leur *équation d'évolution*, par l'étude des *systèmes conservatifs* et sur l'établissement du *théorème d'Ehrenfest* traduisant les lois d'évolution des valeurs moyennes des *opérateurs position* et *impulsion*.

Enfin, l'ouvrage est parachevé par un ensemble d'annexes très utiles pour permettre au lecteur d'approfondir sa compréhension des phénomènes physiques étudiés dans ce présent ouvrage. Les annexes 1 et 2 portent respectivement sur la description des  *fils quantiques*, des *puits quantiques* et des *boîtes quantiques* de matériaux semi-conducteurs. Cette description permet alors de faire le lien avec les *puits de potentiel* et les *boîtes de potentiel* étudiés en mécanique quantique. De plus, ces annexes permettent d'introduire les notions de *confinement 2D*, *1D* et *0D*. Enfin, l'annexe 3 est dédiée à la démonstration détaillée de l'expression de la *transparence* d'une barrière de potentiel de hauteur  $V_0$  pour une particule d'énergie  $E > V_0$ . Ce qui permet d'introduire le *phénomène de résonance*. Une bibliographie et un index sont placés à la fin de l'ouvrage.

Je tiens à remercier le laboratoire Chrono Environnement de l'université de Franche-Comté de Besançon pour son hospitalité durant mon séjour du 1<sup>er</sup> septembre au 2 novembre 2018 en ma qualité de professeur invité. Nombre de pages de cet ouvrage ont été saisies durant ce séjour où j'ai bénéficié d'un environnement très favorable à la rédaction d'un livre tant du point de vue de la logistique que du point de vue de la documentation. Que l'on me permette de faire mention particulière à monsieur Jean-Emmanuel Groetz, maître de conférences au laboratoire Chrono Environnement, qui avait porté mon dossier de demande de professeur invité. J'adresse aussi mes chaleureux remerciements à monsieur Élie Belorizky, professeur de physique à l'université Joseph-Fourier de Grenoble (France) pour ses critiques, remarques et suggestions très fructueuses ayant rehaussé la qualité scientifique de cet ouvrage. Nombre de corrections introduites dans cet ouvrage ont été faites *via* des échanges téléphoniques durant mon séjour à l'université de Franche-Comté de Besançon. Qu'il trouve ici exprimée ma profonde reconnaissance pour avoir pris en charge les frais inhérents aux appels téléphoniques en marge de ses relectures. Je tiens enfin à manifester ma profonde gratitude à monsieur Louis Marchildon, professeur émérite en physique de l'université de Québec à Trois-Rivières (Canada), qui n'a ménagé aucun effort pour relire l'intégralité de cet ouvrage, pour en faire des commentaires ayant permis de rehausser la qualité scientifique du présent ouvrage, dont la préface porte sa signature. Notre collaboration a débuté en 2013 lorsqu'il m'invita à animer une conférence à l'Institut de recherches sur l'hydrogène (IRH). Qu'il trouve ici exprimés mes sincères remerciements pour son aimable collaboration très fructueuse.

Toute œuvre humaine étant perfectible, je reste à l'écoute de mes lecteurs pour accueillir avec intérêt leurs critiques et suggestions à l'adresse électronique ci-dessous<sup>1</sup>.

---

1. [aminafatima\\_sakho@yahoo.fr](mailto:aminafatima_sakho@yahoo.fr).