

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 1*, 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 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 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 **chapitre 1** est dédié à l'étude des caractéristiques du *rayonnement thermique*. L'étude du spectre d'émission du corps noir permet d'établir les *lois fondamentales du rayonnement* constituées par la *loi de Lambert*, les *lois de Kirchoff*, la *loi de Stefan-Boltzmann*, les *lois de Wien*, la *loi de Rayleigh-Jeans* et la *loi de Planck*. L'énoncé de ces lois permet d'introduire les principales *grandeurs énergétiques* caractéristiques du rayonnement thermique, telles que la *luminance*, l'*intensité lumineuse*, l'*émittance énergétique totale* et l'*émittance énergétique monochromatique*.

Le **chapitre 2** est consacré à la mise en évidence des *aspects ondulatoire et corpusculaire* de la lumière. C'est ainsi que l'exposé porte à la fois sur l'étude des phénomènes d'*interférences lumineuses* mettant en évidence le caractère ondulatoire de la lumière et sur l'*effet photoélectrique* et l'*effet Compton* mettant en évidence le caractère corpusculaire de la lumière. Le chapitre est parachevé par l'étude de la *dualité onde-corpuscule* conciliant les propriétés ondulatoires et corpusculaires de la lumière constituée d'un flux de photons.

Dans le **chapitre 3** sont passées en revue les principales expériences ayant permis de mettre en évidence les quatre *nombres quantiques* de l'électron. Y sont notamment étudiés le modèle de l'*atome quantifié de Bohr* permettant d'introduire le *nombre quantique principal*, le *modèle atomique de Sommerfeld* permettant d'introduire le *nombre quantique orbital* ainsi que le *nombre quantique magnétique orbital* à travers l'interprétation de l'*effet Zeeman normal*. Par la suite, l'exposé porte sur l'étude de l'*expérience de Stern et Gerlach* et sur l'*hypothèse d'Uhlenbeck et Goudsmit* ayant conduit à l'introduction du *spin de l'électron*. Le chapitre est bouclé par une introduction portant sur la *notation spectroscopique* des états quantiques, basée sur les propriétés du *nombre quantique total* de l'électron. Cette notation spectroscopique permet d'expliquer la *structure fine* des niveaux d'énergies découlant du *couplage spin-orbite* et permet aussi d'interpréter l'*effet Zeeman anormal* (ou *effet Zeeman complexe*).

Le **chapitre 4** est réservé à l'étude de la *théorie ondulatoire de de Broglie* basée sur la notion d'*ondes de matière* et sur les *relations d'incertitudes de Heisenberg* qui ont facilité l'élaboration de la mécanique quantique.

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

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. Le volume 1 comporte 5 annexes. L'annexe 1 porte sur une démonstration de la *loi de Planck* permettant d'introduire le *gaz photonique*, le *spin du photon* à travers l'*effet Sadovsky*, les notions de *polarisation du photon* et

d'étudier le principe de décomposition du champ du rayonnement électromagnétique en une somme d'*oscillateurs harmoniques virtuels*. L'annexe 2 est dédiée à l'étude du lien entre la loi de Planck et la *théorie d'Einstein*. Cette étude permet de décrire les principaux processus d'*interaction rayonnement optique-matière*, relatifs aux processus d'*absorption*, d'*émission stimulée* et d'*émission spontanée* de lumière, d'introduire les *coefficients d'Einstein* et d'établir les relations qui les lient. L'annexe 3 est réservée à l'établissement de la *loi de Stefan* par voie thermodynamique puis par voie théorique, selon la procédure adoptée par Boltzmann. L'annexe 4 repose sur une étude sommaire de la *théorie relativiste de Dirac* permettant de définir l'*hamiltonien de perturbation de structure fine*, d'exprimer l'énergie des *systèmes hydrogénoïdes* faiblement relativistes et d'étudier les effets de l'*hamiltonien de perturbation de structure fine* sur les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène. L'annexe 5 porte sur une description des phénomènes de *structure fine* et de *structure hyperfine*. L'étude du *déplacement de Lamb*, la notion de *vide physique*, de *spin nucléaire*, de *durée de vie* des états excités, d'*effet Zeeman anormal* et du phénomène d'*élargissement des raies spectrales par effet Doppler* figurent en bonne place dans cette annexe. Le volume 2 comporte 3 annexes. L'annexe 1 est réservée à la description des puits quantiques de matériaux semi-conducteurs permettant d'introduire les notions. L'annexe 2 porte sur la genèse et la description des *boîtes quantiques* obtenues en réalisant un confinement 0D de matériaux semi-conducteurs. Enfin, l'annexe 3 est dédiée à l'établissement de l'expression de la transparence d'une *barrière de potentiel rectangulaire* de hauteur V_0 et de largeur a dans le cas d'une particule d'énergie totale $E > V_0$ ainsi qu'à l'étude du phénomène de résonance. Une bibliographie et un index sont placés à la fin de chaque volume.

Je tiens à remercier le laboratoire Chrono Environnement de l'université Franche-Comté de Besançon pour son hospitalité durant mon séjour du premier septembre au deux novembre 2018 en ma qualité de professeur invité. Nombre de pages ont été saisies durant ce séjour où j'ai bénéficié d'un environnement très favorable à la rédaction de cet ouvrage, 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 qui ont rehaussé la qualité scientifique de ce livre. Nombre de corrections introduites dans cet ouvrage ont été faites *via* des échanges téléphoniques durant mon séjour à l'université 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 contribuer à la haute portée 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 exprimée ma profonde gratitude 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-dessous¹.

1. aminafatima_sakho@yahoo.fr.