

Mécanique Quantique Cours Et Exercices Corrigés

L'ouvrage traite d'un concept particulièrement attractif du cours de mécanique quantique avancé, c'est à dire les symétries. Après une brève introduction aux symétries en mécanique classique, le texte s'attache à leur place en mécanique quantique, aux conséquences de la symétrie de rotation, ainsi qu'à la théorie générale des groupes de Lie. Les groupes isospin, l'hypercharge SU(3), et leurs applications sont traités avant les chapitres sur les quarks et leur charme, SU(4), ainsi que les symétries dynamiques et les frontières de la recherche en physique des particules. Ce texte unique comprend plus de 120 problèmes et exercices très détaillés et corrigés, afin d'en faire l'ouvrage de référence en la matière.

L'ouvrage Mécanique Quantique - Introduction - jette les bases du cours de mécanique quantique et de la théorie des champs. En partant de la radiation du corps noir, de l'effet photoélectrique et de la dualité onde - particule, l'auteur expose les relations de l'incertitude, le spin, et les systèmes à plusieurs corps. Il inclut les applications à l'atome d'hydrogène et les expériences de Stern-Gerlach, et de Einstein-de Haas. Sont aussi présentés en détails l'aspect mathématique de la théorie de représentation, les matrices S, la théorie de la perturbation, les problèmes des valeurs propres, les équations différentielles hypergéométriques. Le lecteur trouvera aussi plus de 80 exemples et exercices, ainsi que leur corrigé, et ceci afin de consolider le propos du livre. Chaque exercice a été soigneusement choisi et traité pour que l'ouvrage soit l'outil de base et de référence de son lecteur.

Dans un style clair, cet ouvrage couvre le programme de 3e année de mécanique quantique. Il inscrit l'élaboration de la discipline dans ses fondements historiques et met en avant un exemple de construction d'une théorie physique par essai et par erreur. Cet ouvrage s'adresse aux étudiants en 3e année de Physique (niveau L3). Il commence par une description détaillée des expériences cruciales de la Physique microscopique qui, au début du 20ème siècle, ont imposé une révision radicale des concepts établis afin de comprendre la physique au niveau atomique. Dans une deuxième partie, la synthèse des idées rassemblées permet d'abord la formalisation de la Mécanique Quantique (énoncé physique des postulats et formalisme mathématique), puis la présentation de ses premières applications et la mise en évidence des comportements étranges survenant à cette échelle. Cet ouvrage est issu d'une expérience d'enseignement pendant plusieurs années en Licence et Maîtrise de Physique à Sorbonne Université et à l'Ecole Normale Supérieure (Ulm).

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants en Masters de physique, de physique appliquée, de nanosciences et de nanotechnologies. Il est également destiné aux élèves ingénieurs des écoles supérieures de physique et de chimie, ainsi qu'aux candidats aux CAPES et à l'agrégation de physique et chimie. Dans cette nouvelle édition revue, complétée et actualisée, les auteurs développent, entre autres, les modèles atomiques en approfondissant notamment le problème quantique à trois corps et plus particulièrement celui de l'atome d'hélium, ainsi que la théorie du noyau et son influence sur la structure hyperfine des niveaux électroniques. Partant des fondements de la mécanique quantique, ce cours donne l'essentiel du formalisme nécessaire à son développement : opérateurs, fonctions d'onde, groupes et représentations, spineurs... Ensuite, les phénomènes quantiques fondamentaux : spin, structures fine et hyperfine des niveaux quantiques, structure nucléaire, indiscernabilité, transitions... sont détaillés et analysés grâce au formalisme quantique. L'utilisation de la théorie des groupes et de celle des spineurs en mécanique quantique est l'un des intérêts pédagogiques de ce cours. Par ailleurs, de nombreuses applications technologiques sont étudiées afin de montrer l'importance et le rôle de la mécanique quantique dans les développements scientifiques et industriels. Les auteurs ont réduit les difficultés mathématiques en donnant, dans des chapitres distincts, tous les compléments mathématiques nécessaires afin de rendre l'ouvrage autonome. De très nombreux exercices corrigés complètent le cours. Ce cours d'introduction à la mécanique quantique est destiné aux étudiants des licences et masters de physique, aux candidats au CAPES et à l'Agrégation, ainsi qu'aux élèves ingénieurs. La présentation du formalisme a été allégée au profit de l'étude d'exemples concrets. Le cours est illustré par de nombreuses expériences. Une centaine d'exercices et problèmes corrigés sont proposés. Dans cette seconde édition, actualisée, des exemples, des problèmes et des expériences ont été ajoutées afin de faciliter la compréhension des notions les plus complexes.

Ce cours développe les modèles atomiques et moléculaires de la théorie quantique. Il expose l'essentiel du formalisme de cette théorie (opérateurs, fonctions d'onde, groupes et leurs représentations, spineurs...) puis étudie l'atome d'hydrogène, les atomes et les molécules simples, l'action d'un champ magnétique et la diffusion élastique. Les auteurs fournissent, au fur et à mesure, le bagage mathématique nécessaire. Dans cette nouvelle édition actualisée des précisions sont apportées sur les relations microscopiques et macroscopiques. Ainsi, le lecteur trouvera un chapitre supplémentaire sur les états étriqués et l'utilisation de ce concept dans les domaines de la cryptographie et de l'ordinateur quantique. Des exercices corrigés, dont certains sont nouveaux, complètent le cours.

This new, third volume of Cohen-Tannoudji's groundbreaking textbook covers advanced topics of quantum mechanics such as uncorrelated and correlated identical particles, the quantum theory of the electromagnetic field, absorption, emission and scattering of photons by atoms, and quantum entanglement. Written in a didactically unrivalled manner, the textbook explains the fundamental concepts in seven chapters which are elaborated in accompanying complements that provide more detailed discussions, examples and applications. * Completing the success story: the third and final volume of the quantum mechanics textbook written by 1997 Nobel laureate Claude Cohen-Tannoudji and his colleagues Bernard Diu and Franck Laloë * As easily comprehensible as possible: all steps of the physical background and its mathematical representation are spelled out explicitly * Comprehensive: in addition to the fundamentals themselves, the books comes with a wealth of elaborately explained examples and applications Claude Cohen-Tannoudji was a researcher at the Kastler-Brossel laboratory of the Ecole Normale Supérieure in Paris where he also studied and received his PhD in 1962. In 1973 he became Professor of atomic and molecular physics at the Collège des France. His main research interests were optical pumping, quantum optics and atom-photon interactions. In 1997, Claude Cohen-Tannoudji, together with Steven Chu and William D. Phillips, was awarded the Nobel Prize in Physics for his research on laser cooling and trapping of neutral atoms. Bernard Diu was Professor at the Denis Diderot University (Paris VII). He was engaged in research at the Laboratory of Theoretical Physics and High Energy where his focus was on strong interactions physics and statistical mechanics. Franck Laloë was a researcher at the Kastler-Brossel laboratory of the Ecole Normale Supérieure in Paris. His first assignment was with the University of Paris VI before he was appointed to the CNRS, the French National Research Center. His research was focused on optical pumping, statistical mechanics of quantum gases, musical acoustics and the foundations of quantum mechanics.

Ce cours présente les postulats de base et le cadre mathématique de la physique quantique. Le rappel historique de son avènement permet de comprendre comment cette théorie a pu rendre compte de problèmes inexplicables au XIXe siècle. Les notions introduites sont ensuite appliquées à des modèles à une dimension. Ceux-ci simplifient l'analyse des propriétés de certains objets, tels les cristaux conducteurs ou isolants. Les concepts de base sont ensuite étudiés en

détail : moment cinétique, couplage de la matière au champ électromagnétique, spin, particules identiques... La description de l'oscillateur harmonique, utile dans de nombreux problèmes physiques, permet au lecteur d'affiner ses connaissances sur le maniement des opérateurs. Par ailleurs, certaines méthodes d'approximation l'initient au traitement des problèmes dont on ne peut obtenir la solution exacte (la majorité des problèmes de mécanique quantique). Enfin, le dernier chapitre, à la confluence de la physique et de la chimie, développe les questions de physique atomique et moléculaire. L'explication de nombreux phénomènes physiques a été rendue possible par la théorie quantique. Pour l'illustrer, plusieurs applications sont présentées tout au long de l'exposé : conducteurs et semi-conducteurs, RMN, lasers, spectroscopie moléculaire... Les rappels mathématiques sont limités à ce que requiert la compréhension du formalisme utilisé. En outre, chaque chapitre est assorti d'une série d'exercices dont les solutions sont exposées et commentées. Abordable dès la deuxième année de licence, cet ouvrage est particulièrement destiné aux physiciens et chimistes de master, ainsi qu'aux élèves des écoles d'ingénieurs.

Cet ouvrage est principalement destiné aux étudiants qui préparent les épreuves de physique du CAPES externe et interne de physique et chimie ou de physique et électricité appliquée. Il constitue également une solide base de travail pour les étudiants des premier et deuxième cycles universitaires, les élèves des classes préparatoires et les candidats à l'agrégation. Ce volume, issu d'un enseignement de préparation au CAPES, aborde tous les aspects ondulatoires concernés à la fois par les problèmes d'écrits et les thèmes des épreuves orales (ondes mécaniques, acoustiques, électromagnétiques, phénomènes de transport, optique ondulatoire, mécanique quantique). En particulier, on développe longuement certains aspects concernant la cohérence de la lumière et la physique des lasers. Un second volume traite de la mécanique. L'auteur a essentiellement mis l'accent sur le cheminement des idées (toujours replacées dans une perspective " moderne ") plutôt que sur formalisme et calculs, réduits le plus possible. Le cours proprement dit est accompagné de nombreuses remarques d'ordre pédagogique et de points de repère concernant également les épreuves orales de montages et les épreuves sur dossier. On trouve au fil de la lecture et à la suite de chaque chapitre des exercices, souvent tirés des questions de concours, dont les corrections détaillées en fin d'ouvrage privilégient, elles aussi, le raisonnement plutôt que les techniques calculatoires.

Cet ouvrage vise à donner la formation de base de mécanique quantique aux étudiants des premier et deuxième cycles universitaires. Il présente les principaux éléments du formalisme et de ses applications. L'objectif est d'élucider les concepts difficiles et de montrer comment ces concepts sont utilisés pour obtenir des résultats concrets. Plusieurs applications de la mécanique quantique à la physique atomique et moléculaire sont développées de manière plus approfondie.

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants de 2e cycle en physique, sciences physiques et chimie-physique, aux candidats au Capes et à l'agrégation de sciences physiques, ainsi qu'aux élèves des écoles d'ingénieurs. Après un bref historique de la genèse de la mécanique quantique et un rappel mathématique élémentaire de la théorie des opérateurs fonctionnels, les principes de base de la mécanique quantique sont présentés de manière aussi peu formelle que possible. Ces principes de mécanique quantique sont ensuite appliqués à différents problèmes et concepts de la physique non relativiste : résolution de l'équation de Schrödinger pour les problèmes à une dimension, approche semi-classique, interférences quantiques, méthodes d'approximation, moments cinétiques, mouvement d'une particule dans un champ central, problèmes d'évolution dans le temps, principes du laser et de résonance magnétique, systèmes de particules identiques, diffusion par un centre de forces. L'algèbre de Dirac, universellement utilisée, est exposée dès le cinquième chapitre. Des exercices et des problèmes sont proposés à la fin de chaque chapitre. Leur solution détaillée est donnée à la fin de l'ouvrage.

La mécanique quantique peut être considérée comme la théorie la plus fondamentale de la physique contemporaine. Elle est cependant difficile à appréhender car elle implique une description probabiliste peu intuitive des phénomènes physiques. Par ailleurs, elle est souvent présentée dans un formalisme mathématique qui peut s'avérer déroutant. Ce livre est pensé comme un premier livre de mécanique quantique, une introduction générale aussi pédagogique que possible. Il est le fruit d'une longue expérience des auteurs dans ce domaine. Son contenu a été testé auprès de nombreux étudiants. Le formalisme mathématique est simplifié en proposant l'approche ondulatoire. De nombreux sujets tels que les puits et barrières de potentiel, les paquets d'onde, les oscillateurs harmoniques et l'atome d'hydrogène sont traités. Le spin et des thèmes délicats comme les inégalités de Bell sont abordés. Le livre comporte une ouverture sur la mécanique quantique relativiste. Chaque chapitre propose des exercices de compréhension suivis d'une solution détaillée. Cet ouvrage s'adresse aux étudiants francophones qui commencent ou approfondissent l'étude de la mécanique quantique mais aussi à toute personne curieuse de comprendre cette matière. Il est conçu pour permettre une étude personnelle et comme support de cours. Les prérequis en mathématiques et en physique sont ceux d'une première année d'université.

La conception des lasers et de nombreux dispositifs optoélectroniques tels que les cellules photovoltaïques est devenue possible grâce à la maîtrise des processus de l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière. Introduction à la mécanique quantique 1 est dédié à l'étude du rayonnement thermique et des faits expérimentaux ayant révélé la quantification de la matière. L'étude du rayonnement du corps noir permet d'introduire les lois fondamentales et les principales grandeurs énergétiques caractéristiques du rayonnement. Les propriétés ondulatoires et corpusculaires de la lumière et la dualité onde-corpuscule sont étudiées à partir de l'interprétation des interférences lumineuses, de l'effet photoélectrique et de l'effet Compton. L'ouvrage analyse également le spectre de l'atome d'hydrogène. Enfin, ce premier volume examine l'étude de la théorie ondulatoire de de Broglie et des relations d'incertitudes de Heisenberg qui ont facilité l'élaboration de la mécanique quantique.

Gives a fresh and modern approach to the field. It is a textbook on the principles of the theory, its mathematical framework and its first applications. It constantly refers to modern and practical developments, tunneling microscopy, quantum information, Bell inequalities, quantum cryptography, Bose-Einstein condensation and quantum astrophysics. The book also contains 92 exercises with their solutions.

Mécanique quantique Cours et exercices corrigés

Avec la mise en service du plus grand accélérateur du monde, le LHC au CERN, cet ouvrage propose de manière pertinente une introduction pédagogique aux théories décrivant les particules élémentaires à haute énergie. Des rappels de relativité restreinte et du formalisme de Lagrange et Hamilton permettent d'établir une base commune et une notation covariante. Sont ensuite présentées la mécanique quantique relativiste avec les équations de Klein-Gordon et de Dirac, les fonctions de Green et les propagateurs, les théories de jauge abéliennes, comme l'électrodynamique quantique (QED), et non-abéliennes, comme la chromodynamique quantique (QCD), et le mécanisme de Higgs. Les règles de Feynman, qui en sont déduites, offrent une description intuitive sur les interactions entre les constituants fondamentaux et un outil de calcul efficace pour les processus physiques. Chaque chapitre se termine par une série d'exercices corrigés. Le cours reste accessible aux étudiants de master qui ne souhaitent pas nécessairement se spécialiser dans la physique théorique.

Cet ouvrage est destiné essentiellement aux étudiants de licence en sciences fondamentales et appliquées dans les domaines des sciences de la matière, des sciences technologiques, des sciences de la nature et de la vie et des sciences médicales. Il décrit d'une manière pédagogique : la structure de l'atome ; la radioactivité et les réactions nucléaires ; la quantification de l'énergie dans les modèles semi-atomique et quantique de l'atome ; la classification périodique des éléments ; la liaison chimique à travers les différentes théories : le modèle de Lewis, la méthode VSEPR, la théorie de l'hybridation et les recouvrements des orbitales atomiques ainsi que la théorie et les diagrammes énergétiques des orbitales moléculaires. Les liaisons intermoléculaires, la polarité et le magnétisme des molécules, ainsi que l'état solide à travers l'étude des forces de cohésion dans les différents types de cristaux, les systèmes, les réseaux et les structures des édifices cristallins sont également bien développés dans ce manuel.

Ce tome 2 fournit une description des applications fondamentales de la mécanique quantique aux systèmes de basse énergie, fournissant autant d'exemples des immenses succès de la théorie quantique pour l'explication des propriétés observées.

Les collisions atomiques ne cessent d'avoir un intérêt majeur tant d'un point de vue fondamental qu'appliqué. S'il est admis que seule la mécanique quantique est légitime pour leur traitement, son formalisme est cependant difficile à mettre en oeuvre dans le cas des collisions à plus de deux corps, qui n'ont pas de solution analytique. Or il s'avère que le traitement semi-classique de la mécanique classique, associée à la mécanique ondulatoire pour tenir compte des interférences, peut dans tous les cas remplacer avantageusement la mécanique quantique. L'ouvrage revient d'abord sur la mécanique classique et la mécanique quantique, avant de développer une analyse détaillée des processus de collision entre ions, atomes ou molécules. Sa lecture est facilitée par les rappels éventuellement nécessaires en annexes (fonction de Heaviside, distribution de Dirac, fonction Gamma, conditions de capture, impulsion de recul). Chaque chapitre est complété par un choix d'exercices corrigés.

Ce livre d'exercices a été conçu pour compléter harmonieusement un cours d'introduction à la mécanique quantique. Il contient une soixantaine d'exercices illustrés, répartis en onze chapitres et accompagnés de nombreuses références. Dans chaque chapitre sont présentés les rappels de cours ou compléments jugés les plus utiles à l'étudiant. Tout en restant à un niveau élémentaire, la plupart des exercices traités dans le livre ne sont pas simplement académiques. Ils ont pour but de stimuler la curiosité de l'étudiant en lui faisant découvrir des applications majeures de la Mécanique quantique dans les domaines les plus variés de la science moderne. Ces domaines vont de la chimie et la biochimie aux polymères conducteurs et supraconducteurs, en passant par les états intriqués de photons, le puits quantique, les ondes de spins, l'interféromètre à neutrons, la spectroscopie atomique, la résonance magnétique nucléaire, etc. Les auteurs se sont appliqués à répondre aux questions posées de façon détaillée, parfois jusqu'à l'excès, pour que l'étudiant ne reste pas dans l'expectative. A charge pour lui de chercher sérieusement chaque réponse avant de consulter la solution. C'est ainsi que le livre lui sera le plus profitable.

Ce deuxième tome s'adresse aux étudiants de Master. Dans le même état d'esprit que le premier tome, on y développe le formalisme dans des situations plus complexes, s'appuyant sur des considérations physiques et expliquant les concepts dans un langage aussi intuitif et accessible que possible. L'arsenal de mathématiques appliquées nécessaire à la maîtrise du sujet est développé au fur et à mesure, belle occasion d'introduire quelques outils indispensables au physicien, quelle que soit sa spécialité. La première partie s'appuie notamment sur la notion de symétrie. La théorie du moment cinétique et le champ central sont exposés. L'introduction du spin est faite sur des bases physiques, conduisant à l'équation de Dirac et à sa discussion. Les postulats quantiques sont ensuite revisités, à la lumière d'expériences récentes, permettant de revenir sur les étrangetés quantiques (intrication), la décohérence et des applications surprenantes (cryptographie). Après l'exposé des principes des méthodes perturbatives et variationnelles, les bases de la quantification du rayonnement sont expliquées. Cette partie se termine par une introduction à la théorie des collisions. La deuxième partie propose quelques applications, délibérément restreintes à la physique de basse énergie, où on s'efforce de montrer l'universalité des concepts quantiques dans des champs aussi variés que la physique atomique, la chimie et la physique des solides, permettant de mettre en lumière l'immense pouvoir explicatif et les innombrables succès de la théorie quantique. Cet ouvrage est issu d'une expérience d'enseignement pendant plusieurs années en Licence et Maîtrise de Physique de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6) et à l'École Normale Supérieure (Ulm). Physique du monde macroscopique basée sur une description microscopique de la matière, la physique statistique permet de comprendre les propriétés des systèmes constitués d'un grand nombre de particules. Ses applications vont de la physique nucléaire à l'astrophysique en passant par la physique de la matière condensée. Destiné aux étudiants en troisième année de licence et en master de physique, cet ouvrage s'adresse aussi aux élèves des écoles d'ingénieurs. Conçu comme un manuel de cours d'introduction à la physique statistique, il peut être également utilisé comme une « boîte à outils » pour approfondir un sujet précis. Chaque chapitre est accompagné d'exercices intégralement corrigés pour assimiler les concepts expliqués et favoriser la préparation aux épreuves.

Cet ouvrage propose une introduction à la physique des particules pour tout étudiant de niveau M1, qu'il se destine à la physique théorique ou non. Il présente la physique des particules de manière abordable sans occulter les concepts formels sur lesquels elle repose. Les rappels de mécanique relativiste et du formalisme de Lagrange permettent de comprendre la nature et le comportement des particules à très haute énergie. Enfin, les règles de Feynman offrent une

description simple de leurs interactions. Chaque chapitre est complété par des exercices corrigés. Dans cette seconde édition, actualisée, le chapitre sur les champs classiques et quantiques libres a été entièrement refondu pour aborder les problématiques liées à la mécanique relativiste, et de nouveaux exercices ont été ajoutés.

This didactically unrivalled textbook and timeless reference by Nobel Prize Laureate Claude Cohen-Tannoudji separates essential underlying principles of quantum mechanics from specific applications and practical examples and deals with each of them in a different section. Chapters emphasize principles; complementary sections supply applications. The book provides a qualitative introduction to quantum mechanical ideas; a systematic, complete and elaborate presentation of all the mathematical tools and postulates needed, including a discussion of their physical content and applications. The book is recommended on a regular basis by lecturers of undergraduate courses.

Cet ouvrage, destiné essentiellement aux étudiants de deuxième cycle (sciences physiques, chimie-physique, physique) a pour vocation de familiariser le lecteur avec les concepts de la mécanique quantique et surtout avec une démarche qui peut ne pas leur être familière, puisque fondée sur les notions de fonctions d'onde, probabilités de présence, états propres, niveaux d'énergie... L'auteur a volontairement évité l'aspect historique ou anecdotique au profit des points fondamentaux, clairement identifiés. De la même façon, une approche plus simple et plus pragmatique a été préférée aux développements mathématiques trop généraux ou trop élaborés. L'autre originalité de ce cours réside dans les nombreux exercices et problèmes qui se substituent, lorsque cela est possible, à l'exposé traditionnel ; la lecture, devenant ainsi interactive, incitera l'étudiant à la réflexion. Chaque chapitre est suivi des solutions aux exercices et problèmes proposés dans le cours du texte. Enfin, un dernier chapitre est consacré à des problèmes de synthèse, tous résolus.

Cet ouvrage propose un ensemble d'exercices corrigés de mécanique quantique en accompagnement du cours de l'auteur, "Mécanique quantique. Atomes et molécules". Chaque chapitre débute par un formulaire. Les exercices portent sur des réalisations et des techniques expérimentales récentes et apparaissent ainsi moins abstraits que ceux classiquement proposés.

Ce manuel est destiné aux étudiants des licences et masters de physique, aux candidats au CAPES ou à l'Agrégation, ainsi qu'aux élèves ingénieurs. Le cours, illustré par de nombreuses expériences, aborde les points essentiels de la mécanique quantique, parmi lesquels : l'étude de l'équation d'onde de Schrödinger, le rôle des symétries, le problème de l'indiscernabilité des particules identiques, les méthodes d'approximation et les problèmes dépendant du temps. Sont abordées également la théorie de la collision ou l'étude de la dynamique d'une particule en champ magnétique. Une centaine d'exercices et de problèmes sont proposés et accompagnés de corrigés détaillés mettant en évidence la méthodologie. Dans cette seconde édition actualisée, des exemples, des problèmes et des expériences ont été ajoutés afin de faciliter la compréhension des notions les plus complexes.

Un manuel pour maîtriser les applications de la physique quantique en 3e année de Licence, en Master ou bien en écoles d'ingénieurs avec cours et exercices d'application corrigés.

Rédigé à l'attention des étudiants en deuxième et troisième année de Licence de physique et en écoles d'ingénieurs, ce cours de physique quantique est complété par plus de 100 exercices et problèmes corrigés, dont certains, plus approfondis, portent sur des domaines d'actualité.

Cet ouvrage couvre les programmes de physique quantique de MP et PC, ainsi que le programme de physique statistique de MP. Il s'adresse aux étudiants de classes préparatoires et de licence universitaire, ainsi qu'aux candidats aux concours de l'enseignement. Chaque chapitre comprend le cours détaillé et ses références, des questions sur le cours et des exercices corrigés, ainsi qu'une analyse de document scientifique corrigée et une ouverture sur un point théorique ou expérimental "pour aller plus loin". Ce livre présente les bases historiques et théoriques de la mécanique quantique ondulatoire, de l'effet photoélectrique à l'équation de Schrödinger et ses conséquences. L'introduction à la physique statistique concerne les systèmes en équilibre thermique avec un thermostat. Partant de la loi de Boltzmann, l'étude porte à la fois sur les systèmes à niveaux d'énergie discrets et continus.

[Copyright: fc7aa780fdffa9ead14c8235fe2c0f91](https://www.fcfp.univ-lille.fr/~fc7aa780fdffa9ead14c8235fe2c0f91/)