

Physique atomique et moléculaire

M. Claude COHEN-TANNOUJJI, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

Le cours de cette année est le premier d'une série de deux cours consacrés à l'étude du piégeage et du refroidissement de particules *chargées*. Rappelons que les cours des deux années antérieures avaient porté sur des problèmes analogues relatifs à des atomes *neutres*. L'objectif général des travaux théoriques et expérimentaux qui sont effectués dans ce domaine de recherche est de ralentir, refroidir, piéger une particule atomique, de manière à pouvoir l'observer dans des conditions aussi pures que possible, et pendant des temps aussi longs que possible (afin d'éliminer toutes les perturbations liées aux collisions, à l'effet Doppler, à l'élargissement dû au temps de transit...).

En ce qui concerne les particules chargées, deux grands domaines d'application sont à distinguer suivant que ces particules sont des leptons (électrons, positrons, muons) ou des ions. Dans le premier cas, la mesure précise du moment magnétique de spin de la particule permet d'évaluer les corrections radiatives à ce moment magnétique (« anomalie $g - 2$ ») et de tester ainsi des théories et des symétries fondamentales comme l'électrodynamique quantique ou la symétrie particule-antiparticule. Dans le second cas, l'étude à haute résolution des diverses transitions d'un ion piégé a des applications importantes dans divers domaines comme la spectroscopie de masse, la spectroscopie optique et microonde, les standards de fréquence. Le cours de cette année a été consacré à l'étude des électrons et des positrons. Le problème des ions sera abordé au cours de l'année suivante.

Bref historique sur le moment magnétique de spin de l'électron

Le cours débute par une description de l'évolution de nos idées sur le moment magnétique de spin de l'électron et par un survol des diverses étapes qui ont marqué cette évolution : apparition du spin dans la théorie quantique et « théorème » de Bohr interdisant l'observation d'un effet Stern et Gerlach sur l'électron libre ; premières expériences de physique atomique de Rabi,

Kusch... mettant en évidence l'anomalie $g - 2$ et suscitant les premiers calculs de cette anomalie ; premières expériences sur des électrons libres ou faiblement liés et utilisant l'effet Mott ; première proposition faite par F. Bloch d'opérer sur des électrons piégés ; première expérience de H. Dehmelt sur des électrons polarisés par collisions d'échange avec des atomes pompés optiquement ; premières expériences de précession libre... Certains de ces problèmes ont été repris plus en détail dans une conférence présentée par O. Darrigol dans le cadre du séminaire de physique atomique et moléculaire.

Electron dans un piège de Penning - Fréquences propres et niveaux d'énergie

Les expériences actuelles qui ont donné les résultats les plus précis sur l'électron utilisent des pièges de Penning.

Avant de décrire de tels pièges, on commence par rappeler les résultats relatifs au mouvement d'un électron dans un champ magnétique uniforme \vec{B}_0 , parallèle à Oz. Deux fréquences importantes apparaissent, la fréquence *cyclotron* ω_c de la charge, et la fréquence de précession de *Larmor* ω_L du spin. L'étude quantique de ce problème conduit au diagramme d'énergie de *Landau-Rabi*.

Avec un seul champ \vec{B}_0 , le mouvement de l'électron n'est pas confiné dans la direction Oz de \vec{B}_0 . L'idée la plus simple consiste alors à appliquer un potentiel électrostatique Φ en z^2 , de manière à introduire une force de rappel ramenant l'électron en $z = 0$. En fait, à cause de l'équation de Laplace, le potentiel Φ est nécessairement quadrupolaire : il varie en $2z^2 - (x^2 + y^2)$ et donne donc naissance à une force répulsive qui éloigne l'électron de l'origine dans le plan xoy. La force de Lorentz due au champ magnétique \vec{B}_0 peut cependant compenser cette force répulsive, si B_0 est suffisamment grand. Finalement, la combinaison d'un potentiel électrostatique quadrupolaire Φ , de révolution autour de Oz, et d'un champ magnétique \vec{B}_0 , parallèle à Oz et suffisamment intense, peut confiner le mouvement de l'électron dans les trois directions, et constitue un *piège de Penning*.

Les équations classiques du mouvement de l'électron dans un tel piège sont résolues et mettent en évidence l'existence de 3 fréquences pour le mouvement de la charge (en plus de la fréquence de Larmor ω_L du spin qui demeure inchangée en présence de Φ) : la *fréquence cyclotron modifiée* ω'_c , associée au mouvement cyclotron perturbé par le champ électrique, la *fréquence de vibration axiale* ω_z dans le creux de potentiel de Φ le long de Oz, la *fréquence magnétron* ω_m , associée à une dérive lente de l'orbite cyclotron autour de Oz.

L'hamiltonien quantique de l'électron dans un tel piège est également étudié. Il peut être mis sous la forme d'une somme de 3 hamiltoniens d'oscillateurs harmoniques indépendants, de fréquences ω'_c , ω_z , ω_m . Les fréquences de Bohr apparaissant dans le mouvement des diverses observables de l'électron sont déterminées.

Enfin, compte tenu de la précision avec laquelle l'anomalie $g - 2$ est actuellement mesurée à partir des fréquences ω'_c , ω_z , ω_m , ω_L , on évalue les conséquences sur ces fréquences d'une imperfection éventuelle du piège : défaut de symétrie de révolution, défaut d'alignement entre le champ \vec{B}_0 et l'axe de symétrie de Φ .

Processus de relaxation

Le cours se poursuit par une étude des divers processus physiques couplant l'électron dans le piège de Penning au monde extérieur, et introduisant ainsi un *amortissement* du mouvement de cet électron, de même que du *bruit*. Le vide dans l'enceinte est supposé suffisant pour qu'on puisse négliger les collisions avec le gaz résiduel.

Le premier processus étudié est *l'émission spontanée* de rayonnement qui n'est appréciable que pour le mouvement cyclotron.

Un phénomène beaucoup plus important est lié aux charges induites par l'électron sur les électrodes du piège. La variation de ces charges induites quand l'électron est en mouvement lent fait apparaître un *courant dans les circuits extérieurs*, et par suite, une *dissipation* d'énergie par effet Joule dans les résistances de ces circuits, de même qu'un *bruit* associé aux fluctuations thermiques du voltage dans les résistances. Enfin, l'interaction de l'électron avec les charges qu'il induit sur les électrodes peut modifier légèrement ses fréquences propres.

Tous ces phénomènes sont analysés qualitativement et quantitativement en termes de circuits électriques équivalents.

Détection de la résonance axiale - Observation d'un électron unique

Les électrodes permettant de réaliser le potentiel quadrupolaire Φ sont au nombre de trois : une électrode ayant la forme d'un anneau entourant l'axe Oz et deux électrodes coupelles, perpendiculaires à l'axe Oz et fermant le piège en haut et en bas.

En appliquant entre les 2 coupelles une tension alternative de fréquence ω voisine de ω_z , on excite le mouvement de vibration axiale de l'électron. Le passage à la résonance est détecté sur les variations résonnantes du courant

induit par le mouvement de vibration de l'électron dans le circuit reliant les 2 coupelles. La fréquence de vibration axiale peut être déterminée à une fraction de hertz près.

Les expériences correspondantes sont décrites, notamment, celles qui ont permis à D. Wineland, P. Ekstrom et H. Dehmelt de détecter la résonance d'un *électron unique*.

Détection des autres résonances par couplage avec la vibration axiale
- *Méthode de la bouteille magnétique*

Les mouvements cyclotron, magnétron et de spin n'induisent pas de courant dans le circuit des coupelles. La méthode de la *bouteille magnétique*, imaginée par H. Dehmelt, permet de mesurer les fréquences propres de ces 3 mouvements en les couplant au mouvement de vibration axiale, grâce à un champ magnétique inhomogène qui introduit une énergie potentielle effective supplémentaire, variant en z^2 , et dépendant des nombres quantiques cyclotron, magnétron et de spin. Toute variation de ces nombres quantiques, produite par une résonance cyclotron, magnétron ou de spin, se traduit donc par un changement de l'énergie potentielle le long de Oz, et donc par une variation de la fréquence de vibration axiale, aisément mesurable.

Une telle méthode est analysée quantitativement. Le calcul de l'hamiltonien de perturbation associé au champ magnétique inhomogène permet de déterminer les termes de couplage entre les divers mouvements et d'obtenir l'expression du déplacement de la fréquence de vibration axiale. On montre également que les diverses résonances sont d'autant plus élargies par les inhomogénéités du champ magnétique que le nombre quantique de vibration axiale est plus élevé.

Plusieurs exemples d'applications sont finalement passés en revue : excitation et détection de la résonance magnétron, de la résonance cyclotron, des résonances mixtes cyclotron-spin, de fréquence $\omega_L - \omega'_c$.

Refroidissement radiatif du mouvement magnétron

Les résonances mixtes, où 2 nombres quantiques varient à la fois, sont intéressantes pour *refroidir* les degrés de liberté d'une particule piégée. Le principe d'une telle méthode, imaginée par D. Wineland et H. Dehmelt, est expliqué sur les résonances mixtes vibration-magnétron à $\omega_z + \omega_m$. L'absorption d'un photon $\hbar(\omega_z + \omega_m)$ augmente le nombre quantique de vibration d'une unité, tout en diminuant le nombre quantique magnétron d'une unité. Or, le mouvement de vibration est le seul à être couplé aux circuits extérieurs. Le nombre quantique de vibration retourne donc rapidement à sa valeur

initiale par suite de la dissipation dans le circuit extérieur, alors que le nombre quantique magnétron ne change pas. Il suffit donc de recommencer un grand nombre de fois le cycle précédent pour diminuer de manière appréciable l'énergie magnétron, et donc refroidir les degrés de liberté correspondants.

Une analyse quantitative originale du refroidissement radiatif est présentée. Elle est basée sur les équations de Heisenberg couplées des 2 oscillateurs (associés aux mouvements de vibration axiale et magnétron), auxquelles sont ajoutés des termes de relaxation pour le mouvement de vibration axiale. La résolution de ces équations permet de déterminer la vitesse du refroidissement ainsi que les limites qu'il permet d'atteindre.

Effet Stern et Gerlach continu

- Analyse d'un processus de mesure portant sur un électron unique

Comme dans l'expérience de Stern et Gerlach, le spin de l'électron interagit avec un gradient de champ, celui de la bouteille magnétique. Cette interaction permet de détecter l'état de spin de l'électron, dans la mesure où la fréquence de vibration axiale ω_z de l'électron dépend de cet état de spin. Comme ω_z peut être mesurée en permanence, une telle expérience a reçu le nom *d'effet Stern et Gerlach continu*. Elle est suffisamment simple, au moins dans des conditions idéales (un seul électron, pas d'autres sources de bruit que la résistance R du circuit de détection), pour qu'on puisse étudier en détail un certain nombre de problèmes relatifs au processus de mesure. Le cours présente et discute les arguments de H. Dehmelt sur ces problèmes.

Tout d'abord, il n'est possible d'affirmer que le spin a basculé que si la variation correspondante, $\delta\omega_z$, de la fréquence de vibration axiale est supérieure au bruit. Or, le bruit, produit par la résistance R, est d'autant plus petit que le temps d'intégration du circuit détectant les variations de ω_z est plus long. Il apparaît ainsi que la mesure de l'état de spin de l'électron doit durer un *temps minimum* T_m , celui pendant lequel il faut moyenner le bruit pour le rendre inférieur au signal. Ce temps T_m est calculé en fonction des divers paramètres de l'expérience.

Le bruit produit par la résistance R a un autre effet, celui de faire varier aléatoirement l'amplitude du mouvement de vibration de l'électron, et donc le champ magnétique moyen « vu » par cet électron. La bouteille magnétique et le circuit électrique de détection (appareil de mesure) introduisent donc un élément aléatoire dans l'évolution du spin (système qu'ils permettent d'étudier). On montre alors que le temps de mesure minimum T_m , introduit plus haut, est aussi le temps au bout duquel l'interaction avec l'appareil a

complètement « brouillé » les phases relatives entre les 2 états de spin de l'électron.

L'étude de l'effet Stern et Gerlach continu permet ainsi, sur un exemple précis, d'étudier en détail la perturbation associée au processus de mesure. D'autres problèmes, comme le « paradoxe de Zénon », sont également discutés sur cet exemple simple.

Extension de la méthode aux positrons

Le cours se poursuit par la description des expériences que P. Schwinger, R. Van Dyck et H. Dehmelt ont réalisées sur des positrons. Les positrons émis par une source radioactive, sont ralentis électrostatiquement, capturés dans un piège de Penning et refroidis radiativement. Ils sont ensuite transférés dans un second piège de Penning dont les défauts sont compensés avec soin, puis éjectés l'un après l'autre jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'un seul positron dans le piège. La mesure de l'anomalie $g - 2$ est alors effectuée suivant la même méthode que pour l'électron.

Les résultats les plus récents obtenus sur l'électron et le positron sont passés en revue. Près de trois ordres de grandeur ont été gagnés en précision par rapport aux meilleures mesures antérieures. Les facteurs g de l'électron et du positron sont trouvés égaux à 2.10^{-11} près, ce qui constitue un test très sévère de la symétrie matière-antimatière. Notons enfin que la précision expérimentale actuelle sur l'anomalie $g - 2$ est 30 fois plus élevée que la précision des calculs d'électrodynamique quantique.

Les expériences sur l'anomalie $g - 2$ des *muons* positifs et négatifs ont été décrites et discutées dans une conférence du Professeur E. PICASSO du C.E.R.N., présentée dans le cadre du séminaire de physique atomique et moléculaire.

Corrections relativistes - Bistabilité et hystérésis d'origine relativiste

La dernière partie du cours est consacrée à l'étude d'un certain nombre d'effets relativistes.

Les corrections relativistes aux différentes fréquences propres de l'électron dans le piège de Penning sont étudiées à partir de la limite non relativiste de l'équation de Dirac, à laquelle est ajouté un terme décrivant l'anomalie $g - 2$ du moment magnétique de spin de l'électron. La correction la plus importante concerne la fréquence cyclotron qui diminue quand l'énergie cyclotron augmente. L'excitation du mouvement cyclotron entraîne également une correction relativiste de la fréquence de vibration axiale ω_z : ω_z diminue

quand le nombre quantique cyclotron n augmente. Par contre, le mouvement cyclotron ne perturbe pas la fréquence d'anomalie $\omega'_a = \omega_L - \omega'_c$ qui n'est sensible qu'au mouvement de vibration axiale.

Le fait que la fréquence cyclotron dépende de l'énergie du mouvement cyclotron entraîne que l'oscillateur associé au mouvement cyclotron acquiert une *anharmonicité* d'origine relativiste. Or, il est bien connu que des effets *d'hysteresis* et de *bistabilité* peuvent apparaître sur un oscillateur anharmonique quand on balaie lentement la fréquence d'excitation par valeurs décroissantes puis croissantes. De tels phénomènes d'hysteresis et de bistabilité d'origine relativiste viennent d'être effectivement observés par G. Gabrielse, H. Dehmelt et W. Kells sur un électron unique capturé dans un piège de Penning. Les expériences correspondantes sont décrites et analysées. Les perspectives ouvertes par l'utilisation d'effets relativistes pour la spectroscopie à très haute résolution de particules piégées sont également discutées.

Enseignement donné à l'Université Claude Bernard à Lyon

Quatre cours ont été donnés à l'Université Claude Bernard, à Lyon, au cours des mois de février et avril 1985. Ces cours ont porté sur le contrôle du mouvement d'un atome au moyen de faisceaux laser et sur les nouvelles perspectives que ces méthodes très récentes ouvrent dans le domaine de la spectroscopie à ultra-haute résolution.

C. C.-T.

SÉMINAIRES 1984-1985

Les séminaires donnés au Collège de France ont été consacrés à la présentation et à la discussion d'un certain nombre de développements récents en physique atomique et moléculaire :

Six séminaires ont été organisés :

A. ASPECT (Institut d'Optique et Collège de France), *Effets d'interférence pour deux atomes émettant un seul photon.*

F. BIRABEN (Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'E.N.S. - Paris), *Spectroscopie à deux photons des états de Rydberg de l'hydrogène atomique.*

K.R. BURNETT (Imperial College - Londres), *Studying collision and reaction dynamics using light scattering.*

E. PICASSO (C.E.R.N. - Genève), *Measurements of the anomalous magnetic moment of the muon.*

O. DARRIGOL (University of California - Office for History of Science and Technology - Berkeley), *Les débuts du moment magnétique de l'électron libre : une observable pas comme les autres.*

H. KLEINPOPPEN (University of Stirling - Ecosse), *Polarization correlation of the second order decay process of Atomic Deuterium and a test of Bell's inequality.*

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

M. Claude COHEN-TANNOUDJI effectue ses recherches au sein du Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'Ecole Normale Supérieure. Il y dirige les travaux d'une petite équipe de chercheurs et participe, sur le plan théorique, à quelques-uns des autres projets en cours au Laboratoire.

Ce laboratoire, qui est associé au C.N.R.S., est implanté géographiquement, d'une part au Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (24, rue Lhomond), d'autre part à l'Université Paris VI (quai Saint-Bernard). Il est dirigé par M. Jean BROSSEL, Professeur à l'Université Paris VI, membre de l'Institut.

Le personnel du Laboratoire comporte 11 enseignants-chercheurs (professeurs, maître de conférences, maître-assistants, agrégés-préparateurs), 31 chercheurs au C.N.R.S. (directeurs, maîtres, chargés et attachés de recherche), 11 chercheurs étrangers, 9 élèves de grandes écoles, 25 techniciens et administratifs.

Le laboratoire est constitué d'une dizaine d'équipes de recherches, comprenant 3 à 7 chercheurs, et étudiant divers problèmes de physique atomique et moléculaire centrés autour des deux thèmes généraux suivants :

— développement des méthodes optiques de la physique atomique et moléculaire,

— diffusion de la lumière laser par un fluide.

Un rapport d'activité scientifique est rédigé tous les ans pour le Comité National du C.N.R.S. Il contient une analyse détaillée des problèmes scientifiques abordés par chaque équipe et un bilan des résultats nouveaux obtenus. Nous nous contenterons donc ici de donner la liste des publications du Laboratoire en 1984, ainsi que celles des thèses (de 3^e cycle et d'Etat) soutenues au cours de cette même année.

PUBLICATIONS DU LABORATOIRE EN 1984

M. GLASS-MAUJEAN, P. QUADRELLI and K. DRESSLER, *Ab-initio computation of radiative lifetimes of the H_2 molecules in the non adiabatically coupled $J = 1$ states derived from $(EF + GK + HH) \ ^1\Sigma_g^+ + I \ ^1\Pi_g$* (*J. Chem. Phys.*, 80, 4355, 1984).

M. GLASS-MAUJEAN, P. QUADRELLI and K. DRESSLER, *Band transition moments between excited singlet states of the H_2 molecule, non adiabatic eigenvectors and probabilities for spontaneous emission* (*At. Data and Nucl. D. Tables*, 30, 273, 1984).

M. GLASS-MAUJEAN, *Transition probabilities for the D and B' vibrational levels to the X vibrational levels and continuum of H_2* (*At. Data and Nucl. D. Tables*, 30, 301, 1984).

M. GLASS-MAUJEAN, J. BRETON, B. THIÉBLEMONT and K. ITO, *Lifetimes of radiative excited levels of H_2* (*J. Phys. (Paris)*, 45, 1107, 1984).

M. GLASS-MAUJEAN, J. BRETON and P.M. GUYON, *Photoabsorption probabilities for the $D \ 3p\pi \ ^1\Pi_u$ vibrational bands of H_2* (*Chem. Phys. Lett.*, 112, 25, 1984).

J. VIGUÉ, A. ASPECT, P. GRANGIER, G. ROGER, M. BROYER, J.A. BESWICK, *Compte rendu du Colloque de Pise, octobre 1982, édité par N.K. Rahman et C. Guidotti* (*Harwood Acad. Publ.*, 1984), p. 307, *Polarization of atomic fluorescence excited by molecular photodissociation*.

J. VIGUÉ, P. GRANGIER, A. ASPECT, *Polarized atomic fluorescence following molecular photodissociation* (*Phys. Rev.*, A 30, 3317, 1984).

C. FABRE, Y. KALUZNY, R. CALABRESE, LIANG JUN, P. GOY and S. HAROCHE, *Study of non-hydrogenic near degeneracies between M -sublevels in the linear Stark effect of sodium Rydberg states* (*J. Phys.*, B 17, 3217, 1984).

J.M. RAIMOND et S. HAROCHE, *Atomes de Rydberg dans une cavité microonde : Comment modifier l'émission spontanée ?* (*Images de la Physique*, 1984).

P. GOY, J.M. RAIMOND, M. GROSS and S. HAROCHE, *Small and sensitive systems interacting with millimeter and submillimeter waves : Rydberg atoms in a cavity* (*J. Appl. Phys.*, 56, 627, 1984).

J. LIANG, L. MOI, C. FABRE, *The lamp laser : realization of a very long cavity dye laser* (*Optics Comm.*, 52, 131, 1984).

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA, L. HUNTER and L. POTTIER, *New observation of a parity violation in cesium* (*Phys. Lett. B*, 134 B, 463, 1984).

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA and L. POTTIER, *Measurement of the M_1 amplitude and hyperfine mixing between the $6S_{1/2}$ - $7S_{1/2}$ cesium states* (*J. Phys. Lettres* (Paris), 45, L-61, 1984).

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA, L. POTTIER, *Absolute polarization measurements and natural lifetime in the $7S_{1/2}$ state of Cs* (*J. Phys. Lettres* (Paris), 45, L-523, 1984).

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA, L. POTTIER, *Hanle effect detection of the $6S_{1/2}$ - $7S_{1/2}$ single photon transition of cesium without electric field* (*Opt. Comm.*, 51, 243, 1984).

M.A. BOUCHIAT, L. POTTIER, *Atomic parity violation experiments*, Communication invitée à la 9^e Conférence Internationale de Physique Atomique, Seattle, WA, U.S.A. (23-27 July 1984), publiée dans *Atomic Physics IX*, eds. R.S. Van Dyck Jr. and E.N. Fortson and World Sci. Publ. Co., Singapore, p. 246.

M.A. BOUCHAT, *Parity Violation in Atoms*, Ecole des Houches, *New Trends in Atomic Physics*, seminar 7, G. Grynberg and R. Stora eds., Elsevier Science Publ. B.V., p. 887 (1984).

M.A. BOUCHIAT and L. POTTIER, *An atomic preference between left and right* (*Sci. Amer.*, 250, n° 6, 100, June 1984).

Traduction française du précédent réalisée par les auteurs, parue dans *Pour la Science*, n° 82, août 1984.

M. PINARD and L. JULIEN, *Selection of motionless atoms with optical pumping* (*J. Phys. B*, 17, 3693, 1984).

M. LEDUC, P.J. NACHER, S.B. CRAMPTON and F. LALOË, *Nuclear polarization in gaseous ^3He by optical pumping* (*Nucl. Sci. Appl.*, 2, 1, 1984).

P.J. NACHER and M. LEDUC, *Nuclear polarization of gaseous ^3He : optical pumping and expected quantum properties*, Les Houches, session XXXVIII, 1982, *New trends in atomic physics*, G. Grynberg and R. Stora eds., Elsevier Science Publ. (1984), p. 1232.

P.J. NACHER, G. TASTEVIN, M. LEDUC, S.B. CRAMPTON and F. LALOË, *Spin rotation effects and spin waves in gaseous $^3\text{He}_\uparrow$* (*J. Phys. Lettres* (Paris), L-441, 1984).

M. HIMBERT, J. DUPONT-ROC, *Spin relaxation of gaseous polarized ^3He on a surface coated by a thin ^4He film*, LT-17 Proceedings, W. Eckern, A. Schmid, W. Weber, H. Wühl eds., Elsevier Science Publ. (1984), p. 559.

J. DALIBARD and S. REYNAUD, in *New Trends in Atomic Physics*, ed. G. Grynberg and R. Stora (North Holland, 1984), *Non classical properties of resonance fluorescence light*, p. 181-191.

A. HEIDMANN and S. REYNAUD, *Correlations in single photon amplification : stimulated versus spontaneous processes* (*J. de Physique*, 45, 873, 1984).

A. ASPECT, J. DALIBARD, P. GRANGIER and G. ROGER, *Quantum beats in continuously excited atomic cascades* (*Opt. Commun.*, 49, 429-434, 1984).

S. REYNAUD and A. HEIDMANN, *Generation of squeezed states of light : a critical discussion* (*Opt. Commun.*, 50, 271, 1984).

A. HEIDMANN, S. REYNAUD and C. COHEN-TANNOUDJI, *Photon noise reduction and coherence properties of squeezed fields* (*Opt. Commun.*, 52, 235, 1984).

J. DALIBARD, J. DUPONT-ROC and C. COHEN-TANNOUDJI, *Dynamics of a small system coupled to a reservoir : reservoir fluctuations and self-reaction* (*J. de Physique*, 45, 637-656, 1984).

C. COHEN-TANNOUDJI, « Introduction to quantum electrodynamics », in *New Trends in Atomic Physics*, édité par G. Grynberg et R. Stora, North Holland (1984), p. 1.

J. DUPONT-ROC, C. COHEN-TANNOUDJI, « Effective Hamiltonian approach to $g-2$; relativistic calculation », in *New Trends in Atomic Physics*, édité par G. Grynberg et R. Stora, North Holland, 1984, p. 158.

C. TANGUY, S. REYNAUD and C. COHEN-TANNOUDJI, *Deflection of an atomic beam by a laser wave : transition between diffractive and diffusive regimes* (*J. Phys.*, B 17, 4623-4641, 1984).

J. DALIBARD, S. REYNAUD and C. COHEN-TANNOUDJI, *Potentialities of a new σ_+ — σ_- laser configuration for radiative cooling and trapping* (*J. Phys.*, B 17, 4577, 1984).

J. PRODAN, W. PHILLIPS, J. DALIBARD and H. METCALF, *Deceleration of atoms to zero velocity*, Spring Meeting of the American Physical Society (avril 1984, U.S.A.).

A. HEIDMANN et S. REYNAUD, *Can photon noise be reduced?*, Conférence invitée aux « Journées relativistes », Aussois, 2-5 mai 1984, publié dans « Gravitation, Geometry and Relativistic Physics » (Springer, 1984).

O. ABILLON, D. CHATENAY, D. LANGEVIN, J. MEUNIER, *Light scattering study of a lower critical consolute point in a micellar system* (*J. Phys. Lettres* (Paris), 45, L-223, 1984).

E. GIACOBINO and P.R. BERMAN, *Cooling of vapors using collisionally aided radiative excitation (Prog. Quant. Electr., 8, 1984).*

E. GIACOBINO, « Laser cooling », in *Lasers and Applications*, ed. by H.D. Bist, Tata, Mc Graw-Hill (New-Delhi), 1984.

E. GIACOBINO, P.R. BERMAN, H.H. STROKE, O. REDI, M. TAWIL, *Cooling or heating of an atomic vapor using collisionally aided laser excitation (J. Phys., Colloque (Paris), 1984).*

G. GRYNBERG, *Polarization characteristics of a two-photon phase conjugate mirror (Opt. Comm., 48, 432, 1984).*

G. GRYNBERG, M. PINARD and P. VERKERK, *Saturation in degenerate four-wave mixing : the dressed-atom approach (Opt. Comm., 50, 261, 1984).*

G. GRYNBERG, M. PINARD and P. VERKERK, *Saturation in degenerate four-wave mixing (J.O.S.A., B 1, 501, 1984).*

M. PINARD, P. VERKERK and G. GRYNBERG, *Level-crossing spectroscopy of atoms dressed by optical photons in degenerate four-wave mixing (Opt. Lett., 9, 399, 1984).*

M. PINARD, B. KLEINMANN and G. GRYNBERG, *Theory of degenerate four-wave mixing in three-level atoms (Opt. Comm., 51, 281, 1984).*

J.C. GAY, « High magnetic field atomic physics », in *Progress in Atomic Spectroscopy*, volume C, chap. 40, 177 (Plenum, 1984).

F. PENENT, D. DELANDE, F. BIRABEN and J.C. GAY, *Rydberg atoms in crossed electric and magnetic fields. Experimental evidence for the Pauli quantization (Opt. Comm., 49, 184, 1984).*

D. DELANDE, F. BIRABEN and J.C. GAY, « Rydberg atoms in a magnetic field. The diamagnetic behaviour », in *New Trends in Atomic Physics* (Proc. of the Les Houches Summer School, 1982), North Holland, 1984.

D. DELANDE and J.C. GAY, *Group theory applied to the hydrogen atom in a strong magnetic field. Derivation of the effective diamagnetic Hamiltonian (J. Phys. B. Letters, 17, L-335, 1984).*

C. CHARDONNET, D. DELANDE and J.C. GAY, *Generation of quasi-Fano profiles in the low field Stark spectrum of cesium (Opt. Comm., 51, 249, 1984).*

THÈSES D'ÉTAT

G. GOUEDARD, thèse de doctorat d'Etat, Paris VI (5-1-1984), *Etude par pompage optique de l'état $B^3\Sigma_u^-$ de la molécule de Sélénium.*

J.M. RAIMOND, thèse de doctorat d'Etat, Paris VI (25-4-1984), *Propriétés radiatives des atomes de Rydberg dans une cavité résonnante.*

V. LEFEBVRE-SEGUIN, thèse de doctorat d'Etat, Paris VI (10-5-1984), *Contribution à l'étude de $^3\text{He}_\uparrow$ gazeux. I - Relaxation nucléaire à la surface de H_2 solide. II - Relaxation en volume : effets quantiques d'indiscernabilité.*

THÈSES DE 3° CYCLE

Yves KALUZNY, thèse de 3° cycle, soutenue le 7 mars 1984 à Paris VI, *Atomes de Rydberg dans une cavité résonnante : oscillations spontanées et forcées du pendule de Bloch.*

A. HEIDMANN, thèse de 3° cycle, soutenue le 22 mars 1984 à Paris VI, *Contribution à l'étude des statistiques non classiques de photons produites dans l'interaction matière-rayonnement.*

F. PENENT, thèse de 3° cycle, soutenue le 21 mars 1984 à Paris VI, *Etude expérimentale des états de Rydberg du rubidium en champs électrique et magnétique croisés. Le régime des champs faibles.*

O. ABILLON, thèse de 3° cycle, Paris VI, juin 1984, *Etude d'un système micellaire près d'un point critique de démixion.*

THÈSE DOCTEUR-INGÉNIEUR

B. KLEINMANN, thèse de Docteur-Ingénieur, soutenue le 28 mars 1984 à Paris VI, *Etude théorique et expérimentale de la conjugaison de phase à la limite des fortes intensités.*

ACTIVITÉS DIVERSES, CONGRÈS, CONFÉRENCES

— 2 conférences invitées au Symposium International sur *Laser cooling and trapping* (mars 1984), Twärminne (Finlande), *Atomic motion in a light-wave. Dressed atom interpretation - Deflection of an atomic beam by a laser wave. Transition between diffractive and diffusive regimes.*

— Conférence invitée à la Réunion de la Division of Electron and Atomic Physics, Storrs, U.S.A. (mai 1984), *Alfred Kastler and the Atomic Physics Group at Ecole Normale in the 1950-1960's*.

-- Conférence invitée à la réunion Workshop on Controlling Atoms, Storrs, U.S.A. (mai 1984), *Proposals of stable optical traps for neutral atoms*.

— Conférence invitée au 22nd Ampere Congress on Magnetic Resonance and Related Phenomena (septembre 1984), *Atoms and Photons*.

— 2 conférences à la Faculté des Sciences de Tunis (novembre 1984), *Développements récents en physique atomique et moléculaire - Forces exercées sur des atomes par des faisceaux laser. Théorie et applications*.