

Physique atomique et moléculaire

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

Le cours de cette année a été consacré à l'analyse des travaux théoriques et expérimentaux portant sur les ions piégés et à une revue des applications possibles de ces systèmes. Par rapport aux électrons piégés, étudiés dans le cours de l'année antérieure, les ions possèdent des niveaux d'énergie internes donnant naissance à des transitions optiques ou ultraviolettes qui peuvent être excitées de manière résonnante par des faisceaux laser. Il en résulte des possibilités nouvelles, tant en ce qui concerne la détection des ions (détection de la fluorescence induite par l'excitation laser) que le contrôle de leurs degrés de liberté internes (pompage optique) ou externes (refroidissement laser).

Les méthodes d'étude expérimentales

Un potentiel électrostatique ϕ ne peut à lui seul réaliser le piégeage d'une particule chargée car ϕ n'a pas de minimum. Une première solution pour piéger un ion consiste à combiner l'effet d'un potentiel électrostatique quadrupolaire de révolution autour de l'axe Oz, qui présente un minimum en O le long de l'axe Oz, et celui d'un champ magnétique uniforme parallèle à Oz, qui compense l'effet répulsif du potentiel électrostatique dans le plan xOy. Il s'agit là du *piège de Penning* qui est utilisé également pour les électrons et dont le principe est brièvement rappelé.

Un autre type de piège, qui est analysé en détail, est le piège de radiofréquence, qui utilise un champ électrique de radiofréquence, $\vec{E} \cos \Omega t$, de fréquence Ω , dont l'amplitude E est inhomogène. Dans un tel champ, la particule chargée effectue un mouvement de vibration rapide, à la fréquence Ω , dont le centre se déplace avec des fréquences caractéristiques ω qui peuvent être beaucoup plus lentes. A la limite adiabatique ($\omega \ll \Omega$), l'éner-

gie cinétique du mouvement de vibration rapide apparaît comme une énergie potentielle effective pour le mouvement lent. La particule est alors piégée au voisinage des minima de E^2 . Lorsque \vec{E} dérive d'un potentiel quadrupolaire, le piège de radio-fréquence est appelé *piège de Paul*. L'équation du mouvement de la particule chargée est alors une équation de Mathieu. La forme générale des solutions de cette équation est analysée, de même que le domaine de valeurs des paramètres du potentiel conduisant à des solutions stables (ne divergeant pas).

Un certain nombre de perturbations sont également passées en revue, comme l'effet des collisions subies par l'ion piégé A^+ avec les atomes B d'un gaz résiduel. On montre que, dans un piège de Paul, ces collisions ont pour effet d'augmenter l'énergie cinétique désordonnée de A^+ si l'atome B est plus lourd que A^+ (chauffage radio-fréquence), alors qu'elles la diminuent si B est plus léger que A^+ . Les limitations du nombre d'ions qui peuvent être piégés, par suite des effets de charge d'espace, sont également évaluées.

Après cette discussion des diverses méthodes de piégeage, le cours aborde les méthodes de production des ions (qui utilisent essentiellement un bombardement d'un gaz d'atomes neutres par un faisceau électronique ou ionique) et les méthodes de détection (éjection et comptage, fluorescence laser, courants induits dans le circuit des électrodes, méthode bolométrique).

Emission, absorption et diffusion de photons par des ions piégés

Un ion piégé a deux types de degrés de liberté, des degrés de liberté internes, correspondant aux excitations des électrons dans le système du centre de masse et donnant naissance aux transitions optiques de l'ion, et des degrés de liberté externes correspondant à la vibration du centre de masse de l'ion dans le piège.

L'émission ou l'absorption d'un photon par l'ion change, non seulement l'état interne de cet ion, mais également son état externe et donc son énergie de vibration. Les variations de l'énergie de vibration de l'ion, quand cet ion émet, absorbe, ou diffuse des photons quasirésonnants avec une transition interne de l'ion, sont évaluées de manière quantitative. Un tel calcul fournit les éléments de base permettant de comprendre le mécanisme, la vitesse et les limites ultimes du refroidissement laser. Il permet également d'établir des liens avec d'autres effets physiques importants comme l'effet Dicke et l'effet Mössbauer. On montre en particulier que, lorsque l'ion est confiné dans une région d'extension spatiale petite devant la longueur d'onde lumineuse, les processus d'émission ou d'absorption les plus intenses correspondent aux transitions au cours desquelles le nombre quantique externe de vibration ne change pas (régime de Lamb-Dicke donnant naissance à des raies non déplacées).

Refroidissement des ions piégés

Un tel refroidissement est important pour plusieurs raisons. Il s'agit tout d'abord de compenser l'échauffement (dû aux défauts du piège et aux collisions) qui risquerait de rendre trop court le temps de séjour d'un ion dans le piège. Il permet également d'atteindre le régime de Lamb-Dicke et d'éliminer tout effet Doppler du premier ordre sur la transition étudiée. Enfin, le déplacement de fréquence dû à l'effet Doppler du deuxième ordre est proportionnel à l'énergie cinétique de vibration de l'ion, ce qui montre l'intérêt de réduire cette énergie de vibration pour améliorer l'exactitude des standards de fréquence.

On commence par passer en revue les méthodes classiques de refroidissement (évaporation, collisions contre un gaz léger, dissipation d'énergie par effet Joule dans le circuit extérieur). Puis les résultats obtenus plus haut sur la variation de l'énergie de vibration au cours de la diffusion quasirésonnante d'un photon par l'ion piégé sont appliqués à l'étude du refroidissement laser dans deux cas limites : cas des liaisons fortes (ou faibles) correspondant à une fréquence de vibration grande (ou petite) devant la largeur naturelle du niveau excité de l'ion. Un aperçu est donné également sur les problèmes posés par le refroidissement simultané des mouvements cyclotron et magnétron dans un piège de Penning et sur la manière dont ces problèmes peuvent être résolus.

Applications spectroscopiques et métrologiques

Des expériences très récentes portant sur les ions Hg^+ et Ba^+ sont décrites. Les informations spectroscopiques qu'elles ont apportées sur les transitions optiques de ces ions sont analysées et les perspectives ouvertes sont discutées. Les configurations particulièrement intéressantes sont celles des ions qui possèdent deux transitions partageant un niveau commun g , l'une $g - e_1$ étant très intense, l'autre $g - e_2$ étant très faible. La transition intense peut être utilisée pour refroidir et détecter l'ion, alors que les informations spectroscopiques sont obtenues sur la transition faible qui a une largeur intrinsèque très petite et donc un facteur de surtension très élevé.

La configuration précédente présente également un autre avantage qui est discuté en détail. Lorsque l'observation porte sur un ion piégé *unique*, toute transition effectuée par l'ion de g vers e_2 , sur la transition faible, arrête la fluorescence intense sur la transition $g - e_1$. L'absorption d'un photon sur la transition faible peut donc être détectée par *l'absence* d'un grand nombre de photons de fluorescence sur la raie intense. Cette méthode, proposée initialement par H. Dehmelt, est considérée maintenant comme permettant la détection directe sur la fluorescence intense des « sauts quantiques » effectués par

l'ion sur la transition faible. Une méthode originale d'analyse des propriétés statistiques de la lumière de fluorescence est présentée dans le cours. Elle confirme la discussion qualitative précédente et permet d'évaluer toutes les caractéristiques importantes de ce nouveau procédé de détection.

Les ions piégés permettent également d'obtenir des informations intéressantes sur les transitions microondes. Compte tenu du petit nombre d'ions piégés, et de la faiblesse des énergies mises en jeu dans une transition microonde, les méthodes de détection doivent être particulièrement sensibles. On explique en détail les avantages des méthodes de pompage optique et de double résonance qui permettent des gains de sensibilité considérables. Plusieurs expériences récentes permettent d'illustrer la discussion générale.

Un autre domaine important d'application des ions piégés est celui des standards de fréquence. Divers déplacements de fréquence susceptibles d'introduire des erreurs systématiques et donc de diminuer l'exactitude du standard sont passés en revue et analysés : effet Doppler, déplacements Zeeman et Stark, déplacements lumineux, effet du rayonnement du corps noir, des collisions... Les standards actuels les plus performants utilisant des ions Be^+ refroidis par laser sont décrits, de même que certains tests du principe d'équivalence d'Einstein qu'ils ont permis de réaliser.

Le cours se termine par la description de trois nouveaux champs d'application des ions piégés. Le premier concerne les ions négatifs. Des expériences de spectroscopie à très haute résolution utilisant le photodétachement d'ions négatifs dans un piège de Penning sont décrites. Le second est relatif à la spectroscopie de masse, en particulier à la mesure du rapport des masses de l'électron et du proton. Une nouvelle méthode de détection laser de la résonance cyclotron d'ions piégés est analysée. On discute enfin les perspectives d'observer une « cristallisation » sur des plasmas d'ions piégés, refroidis par laser, et pour lesquels l'énergie d'agitation thermique serait beaucoup plus faible que l'énergie de Coulomb moyenne entre deux ions.

C. C.-T.

SÉMINAIRES 1985-1986

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 :

Neuf séminaires ont été organisés :

P. BERMAN (New York University et Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'E.N.S.), *Les équations de Bloch sont-elles valables ?*

M. LEDUC (Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'E.N.S.), *L'hélium 3 polarisé : orientation (nouveaux lasers IR) et effets d'indiscernabilité.*

R. BALIAN (Service de Physique Théorique, C.E.A. Orme des Merisiers), *Une approche géométrique à la Mécanique Statistique hors d'équilibre basée sur la théorie de l'information.*

P. GRANGIER (Institut d'Optique, Orsay), *Observation d'effets de dégroupement dans une cascade radiative : interférences à un seul photon.*

M. LOMBARDI (Laboratoire de Spectrométrie Physique, Grenoble), *Au-delà de la spectroscopie. Les ensembles de niveaux trop denses.*

V. TELEGDİ (Ecole Polytechnique Fédérale. E.T.H., Zurich), *Une méthode alternative pour mesurer la violation de parité dans l'atome de césium.*

M. DESAINFUSCIEN (Laboratoire de l'Horloge Atomique, Orsay), *Confinement et refroidissement d'ions. Outils expérimentaux.*

W. ERTMER (Institut für Angewandte Physik, Bonn), *Velocity and density manipulations of atomic beams by laser light.*

J. ANDRÉ (Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires, Marseille), *Effets et méfaits des collisions dans un piège de Paul (Avenir du refroidissement collisionnel).*

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

M. Claude COHEN-TANNOUDI 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 du 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 depuis le 1^{er} octobre 1985 par M. Jacques DUPONT-ROC, Maître de Recherches au C.N.R.S.

Le personnel du Laboratoire comporte 12 enseignants-chercheurs (professeurs, maître de conférences, maître-assistants, agrégés-préparateurs), 32 chercheurs au C.N.R.S. (directeurs, maîtres, chargés et attachés de recherche), 7 chercheurs étrangers, 7 élèves de grandes écoles, 24 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 1985, ainsi que celles des thèses (de 3^e cycle et d'Etat) soutenues au cours de cette même année.

PUBLICATIONS DU LABORATOIRE EN 1985

M. GLASS-MAUJEAN, J. BRETON, B. THIÉBLEMONT and K. ITO, *Lifetimes of radiative excited levels of H₂* (F. LAHMANI editor, *Photophysics and Photochemistry above, 6eV*, Elsevier Sc. Publ. 1985).

M. GLASS-MAUJEAN, J. BRETON, B. THIÉBLEMONT and K. ITO, *Lifetimes measurements of the radiative $3p\pi D^2\pi_U^-$ levels of H₂* (*Phys. Rev. A*, 32, 947, 1985).

M. GLASS-MAUJEAN, J. BRETON and P.M. GUYON, *Photoabsorption probabilities of the H₂ levels lying near the H (1S) + (n = 2) dissociation limit* (*J. Chem. Phys.*, 83, 1468, 1975).

P. GRANGIER, A. ASPECT, J. VIGUÉ, *Quantum interference effect for two atoms radiating a single photon* (*Phys. Rev. Letters*, 54, 418, 1985).

G. BERTHAUD, J. VIGUÉ, soumis à *Rev. Scient. Instruments*, *Intensity of supersonic molecular beams*.

J. VIGUÉ, G. BERTHAUD, N. BILLY, B. GIRARD, G. GOUEDARD, J.C. LEHMANN (*C.R. Acad. Sci.*, 300, 845, 1985), *Etude de la collision réactive I₂ + F → IF + I**

N. BILLY, M. BROYER, B. GIRARD, G. GOUEDARD, J.C. LEHMANN, J. VIGUÉ (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 1101, 1985) (Symposium A. Kastler), *Application des idées et des méthodes du pompage optique à l'étude des molécules*.

S. HAROCHE, *L'électrodynamique des atomes de Rydberg dans une cavité résonnante* (Comptes rendus du Symposium Alfred Kastler, Paris, janvier, 1985).

S. HAROCHE and J.M. RAIMOND, *Radiative properties of Rydberg states in resonant cavities* (*Adv. in Atom. and Molec. Phys.*, 20, 347, 1985).

A. HEIDMANN, J.M. RAIMOND et S. REYNAUD, *Squeezing in a Rydberg atom maser* (*Phys. Rev. Lett.*, 54, 326, 1985)

A. HEIDMANN, J.M. RAIMOND, S. REYNAUD et N. ZAGURY, *1/N expansion of the statistical properties of the N-Rydberg atom masers : application to squeezing* (*Optics Comm.*, 54, 189, 1985).

A. HEIDMANN, J.M. RAIMOND, S. REYNAUD et N. ZAGURY, *Squeezing in a Rydberg atom maser : effects of damping and thermal fields* (*Optics Comm.*, 54, 54, 1985).

M.A. BOUCHIAT, *Pompage optique et violation de parité dans l'atome*, communication invitée au Symposium Kastler, Paris, 1985 (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 923, 1985).

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA and L. POTTIER, *Atomic parity violation measurements in the highly forbidden 6S-7S cesium transition. Part one : Theoretical analysis, procedure and apparatus* (*J. Phys.*, Paris, 46, 1897, 1985).

Participation à la rédaction de l'article de H. GUILLEMOT (journaliste scientifique indépendante), *Les atomes violent la symétrie du miroir* (*Science et Vie*, n° 810, mars 1985).

J. BROSSEL, « Présentation du Congrès » (Symposium A. Kastler) (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 529, 1985).

G. TASTEVIN, P.J. NACHER, M. LEDUC and F. LALOË, *Direct detection of spin waves in gaseous $^3\text{He} \uparrow$* (*J. Phys. Lettres*, Paris, 46, L-249, 1985).

V. LEFÈVRE-SEGUIN, P.J. NACHER, J. BROSSEL, W.N. HARDY et F. LALOË, *Relaxation nucléaire de ^3He gazeux sur H_2 solide* (*J. Phys.*, Paris, 46, 1145, 1985).

C. LHUILLIER et F. LALOË, *Spin oscillations in polarized gases* (*Phys. Rev. Lett.*, 54, 1207, 1985).

P.J. NACHER and M. LEDUC, *Optical pumping in ^3He with a laser* (*J. Phys.*, Paris, 46, 2057, 1985).

J. DUPONT-ROC, M. LEDUC, P.J. NACHER, *Low temperature techniques to obtain a dense ^3He gas polarized by optical pumping*, Proceedings of the Workshop on Polarized ^3He (*F. Calaprice, R. Dunford eds.*, Princeton, à paraître, p. 1 à 7).

M. HIMBERT, A. LEZAMA, J. DUPONT-ROC, *Laser excitation of Ba^+ ions in liquid helium* (soumis au *J. Phys.*, Paris).

D. BLOCH, G. TRÉNEC and M. LEDUC, *Isotope shift of the 2^3S_1 - 2^3P transition in helium* » (*J. Phys. B*, 18, 1093, 1985).

C. LHUILLIER et M. LEDUC, *Transport dans l'hélium 3 polarisé par pompage optique* (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 859, 1985).

J.P. BOUCHAUD, C. LHUILLIER, *Quantum Boltzmann equation for atomic hydrogen* (*J. Phys.*, Paris, 46, 1101, 1985).

J.P. BOUCHAUD, C. LHUILLIER, *Longitudinal electronic and nuclear spin diffusion in atomic hydrogen* (*J. Phys.*, Paris, 46, 1335, 1985).

J.P. BOUCHAUD, C. LHUILLIER, *Theoretical evidence for new spin waves in atomic hydrogen* (soumis au *J. Phys.*, Paris).

L. PIERRE, H. GUIGNES, C. LHUILLIER, *Adsorption states of light atoms (H, D, He) on quantum crystals (H_2 , D_2 , He, Ne)* (*J. Chem. Phys.*, 82, 496, 1985).

J.P. BOUCHAUD and C. LHUILLIER, *Hyperfine and electronic spin waves in atomic hydrogen, the role of the spin exchange process* (*J. Phys.*, Paris, 46, 1781, 1985).

J.P. BOUCHAUD, P. LE DOUSSAL, *Critical exponents and intermittency in Sinai's billiard* (soumis à *Physica*).

J.P. BOUCHAUD, P. LE DOUSSAL, *Numerical study of a d-dimensional Lorentz gas with universal properties* (à paraître dans *J. Stat. Phys.*).

H.T. DIEP, P. LALLEMAND, O. NAGAI, *Critical properties of a simple cubic fully frustrated Ising lattice by Monte-Carlo method* (*J. Phys. C* 18, 1067, 1985).

H.T. DIEP, P. LALLEMAND, O. NAGAI, *Simple cubic fully frustrated Ising crystal by Monte-Carlo simulation* (*J. Appl. Phys.*, 57, 3309, 1985).

H.T. DIEP, A. GHAZALI, P. LALLEMAND, *A fully frustrated simple cubic lattice with XY and Heisenberg spins* (accepté à *J. Phys. C*).

A. GHAZALI, P. LALLEMAND, H.T. DIEP, *Spin glass transition in Heisenberg spin systems with $\pm J$ random bonds* (soumis pour publication).

S. ZALESKI, P. TABELING, P. LALLEMAND, *Flow structures and wavenumber selection in spiraling vortex flows* (*Phys. Rev. A*, 32, 655, 1985).

S. ZALESKI et P. LALLEMAND, *Scaling laws and intermittency in phase turbulence* (*J. Phys. Lett.*, 46, L-793, 1985).

P. LALLEMAND, H.T. DIEP, A. GHAZALI and G. TOULOUSE, *Configuration space analysis for fully frustrated vector spins* (*J. Phys. Lett.*, 46, L-1087, 1985).

D. d'HUMIÈRES, Y. POMEAU et P. LALLEMAND, *Simulation d'allées de Von Karman bidimensionnelles à l'aide d'un gaz sur réseau* (C.R. Acad. Sc., Paris, 301, 1391, 1985).

F. BIRABEN et L. JULIEN, *Excitation à deux photons sans effet Doppler des niveaux $n = 8$ de l'atome d'hydrogène* (C.R. Acad. Sc., Paris, 301, 161, 1985).

F. BIRABEN et L. JULIEN, *Doppler-free two photon spectroscopy of hydrogen Rydberg states using a c.w. laser* (Opt. Comm., 53, 319, 1985).

B. CAGNAC, *Les transitions multiples résonnantes* (Ann. Phys. Fr., 10, 619, 1985).

B. CAGNAC, *Doppler-free two-photon spectroscopy* (Hyperfine Interactions, 24-26, 19, 1985).

B. CAGNAC, *Applications of the two-photon Doppler-free method : hyperfine interactions and isotope shift measurements* (Hyperfine Interactions, 24-26, 43, 1985).

S. REYNAUD and A. HEIDMANN, *Can photon noise be reduced ?* (Ann. Phys. Fr., 10, 227, 1985).

A. HEIDMANN and S. REYNAUD, *Squeezing in the many atom resonance fluorescence emitted in the forward direction : application to photon noise reduction* (J. Phys., 46, 1937, 1985).

J. DALIBARD and C. COHEN-TANNOUJJI, *Atomic motion in laser light : connection between semi-classical and quantum descriptions* (J. Phys. B 18, 1661, 1985).

J. PRODAN, W. PHILLIPS, I. SO, H. METCALF and J. DALIBARD, *Stopping atoms with laser light* (Phys. Rev. Letters, 54, 992, 1985).

D. CHATENAY, O. ABILLON, J. MEUNIER, D. LANGEVIN, A.M. CAZABAT, dans *Macro and Microemulsions*, ed. D.O. Shah, A.C.S. Symposium Series (Washington 1985), *Critical points in microemulsions : role of Van der Waals and entropic forces*.

D. LANGEVIN, J. MEUNIER et A.M. CAZABAT, *Microemulsions* (dans *La Recherche*, juin 1985, 167, p. 720).

P. GUÉRING, PER-GUNNAR NILSSON and Björn LINDMAN, *Mixed micelles of ionic and nonionic surfactants : quasielastic light scattering and N.M.R. self-diffusion studies of $C_{12}E_8$ -SDS micelles* (J. of Coll. and Interf. Sc., 105, 41, 1985).

D. CHATENAY, W. URBACH, A.M. CAZABAT and D. LANGEVIN, *Onset of droplet aggregation from self-diffusion measurements in microemulsions* (Phys. Rev. Lett., 54, 2253, 1985).

J. MEUNIER, *Measurement of the rigidity coefficient of a surfactant layer and structure of the oil or water microemulsion interface* (J. Phys. Lett., 46, L-1005, 1985).

D. GUEST, L. AUVRAY and D. LANGEVIN, *Persistence length measurements in middle phase microemulsions* (*J. Phys. Lett.*, 46, L-1055, 1985).

D. CHATENAY, W. URBACH, A.M. CAZABAT, M. VACHER and M. WAKS, *Proteins in membrane mimetic systems. Insertion of myelin basic protein into microemulsion droplets* (*Biophys. J.*, 48, 893, 1985).

A.M. CAZABAT, *Probes of Microemulsion Structure*, Phys. of Amphiphiles, 1985, XC Corso, Soc. Italiana di Fisica, p. 723.

D. LANGEVIN, *Light scattering from liquid surfaces. Application to the ultralow tensions associated to microemulsion* (*Phys. of Amphiphiles*, 1985, XC Corso, Soc. Italiana di Fisica, p. 181).

D. LANGEVIN, *Technological relevance of microemulsions and reverse micelles in apolar media* in *Reverse Micelles*, ed. P.L. Luisi and B.E. Straub, p. 287, 1985).

A.M. CAZABAT, D. CHATENAY, P. GUÉRING, D. LANGEVIN, J. MEUNIER and O. SORBA, *Dynamic behavior of microemulsions* in *Reverse Micelles*, ed. P.L. Luisi and B.E. Straub, p. 121, 1985).

M. PINARD, B. KLEINMANN, G. GRYNBERG, D. BLOCH et M. DUCLOY, *Effet de saturation en conjugaison de phase. Atomes à deux niveaux et élargissement Doppler* (*J. Phys.*, Paris, 46, 149, 1985).

B. KLEINMANN, F. TRÉHIN, M. PINARD and G. GRYNBERG, *Degenerate four-wave mixing in sodium vapor in the Rabi regime* (*J.O.S.A.*, 2, 704, 1985).

P. VERKERK, M. PINARD and G. GRYNBERG : *Doppler-free spectroscopy of neon atoms dressed by optical photons in nearly-degenerate four-wave mixing*, (*Opt. Comm.*, 55, 215, 1985).

P. VERKERK, M. PINARD and G. GRYNBERG, *Spectroscopy of atoms dressed by optical photons in nearly-degenerate four-wave mixing* (Springer Series in *Opt. Sci.*, 49, 233, 1985).

G. GRYNBERG and M. PINARD, *Inelastic and adiabatic contributions to atomic polarisability*, (*Phys. Rev.*, A32, 3772, 1985).

E. LE BIHAN, P. VERKERK, M. PINARD and G. GRYNBERG, *Observation of self-oscillation in ring cavities with sodium vapor phase conjugate mirrors*, (*Opt. Comm.*, 56, 202, 1985).

G. GRYNBERG, *Les résonances induites par collision en optique non linéaire : une illustration des concepts du pompage optique* (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 695, 1985).

M. PINARD, L. JULIEN, *La sélection d'atomes immobiles par pompage optique* (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 1007, 1985).

E. GIACOBINO, P.R. BERMAN, H.H. STROKE, O. REDI and M. TAWIL, *Cooling or heating of an atomic vapor using collisionally aided laser excitation* (*J. Phys. Coll.*, C1, 46, C1-275, 1985).

E. GIACOBINO, *Tristability and bifurcations in sodium vapor* (*Opt. Comm.*, 56, 249, 1985).

E. GIACOBINO and G. GRYNBERG, *Switching in optical multistability* (in *Lasers'84* ed. by C. Corcoran, 1985).

J.C. GAY, *New trends in atomic diamagnetism*, dans *Photophysics and Photochemistry in the VUV* (McGlynn et al ed., D. Reidel Pub. Co, Dordrecht, 1985).

J.C. GAY et al., *Atomes de Rydberg en champs extérieurs et symétrie de l'interaction coulombienne* (Contribution au Courrier du C.N.R.S., Images de la Physique, 1985).

J.C. GAY et D. DELANDE, *Rydberg atoms in external fields and the Coulomb geometry*, in *Atomic excitation and recombination in external fields* (Nayfeh and Clark ed., Gordon and Breach 1985).

C. COHEN-TANNOUDJI, *Du pompage optique à la spectroscopie laser* (*Bulletin de l'Union des Physiciens*, 679, 265, 1985).

J. DALIBARD and C. COHEN-TANNOUDJI, *Dressed-atom approach to atomic motion in laser light : the dipole force revisited*, (*J.O.S.A. B*, 2, 1707, 1985).

C. COHEN-TANNOUDJI, *Alfred Kastler and the Atomic Physics Group at Ecole Normale in the 1950-1960's. Personal recollections* (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 545, 1985).

C. COHEN-TANNOUDJI, *Atomes dans un faisceau lumineux ou dans le vide de photon* (*Ann. Phys. Fr.*, 10, 797, 1985).

THÈSES 3^e CYCLE ET D'ÉTAT

P. VERKERK, thèse de 3^e cycle, Paris VI, 28 mars 1985, *Mélange à 4 ondes en phase vapeur : approche théorique par la méthode de l'atome habillé. Etude expérimentale dans la vapeur de néon.*

D. GUEST, thèse de 3^e cycle, Paris VI, 4 juin 1985, *Etude par diffusion de rayonnement, de films de tensioactifs sulfonés de pétrole, aux interfaces eau/huile.*

J. Ph. BOUCHAUD, thèse de 3^e cycle, Paris VI, 13 juin 1985, *Contribution à l'étude des phénomènes de transport dans les gaz quantiques polarisés. Aspects microscopiques et hydrodynamiques.*

P.H. GUÉRING, thèse de Docteur de l'Université Paris-Sud, 12 novembre 1985 : *Etude structurale des microémulsions par effet Kerr et R.M.N.*

P.J. NACHER, thèse d'Etat, Paris VI, 10 juin 1985, *Observation d'ondes de spin dans un gaz d'hélium 3 polarisé par pompage optique laser.*

J. GUÉNA, thèse d'Etat, Paris VI, 11 juin 1985, *Violation de la parité dans l'atome de césium : mesures sur la transition très interdite $6S_{1/2} - 7S_{1/2}$.*

ACTIVITÉS DIVERSES MISSIONS CONFÉRENCES

— Conférence invitée au Symposium Alfred Kastler Paris (janvier 1985), *Atomes dans un faisceau lumineux ou dans le vide de photons.*

— Conférence invitée au Symposium *What can be learned from modern laser spectroscopy*, Copenhague (novembre 1985), *Fluctuations in radiative processes.*

— Conférence invitée au Symposium Fritz Haber sur les méthodes de la spectroscopie laser, Ein Bokek (décembre 1985), *New theoretical tools for single atom laser spectroscopy.*