

## Physique atomique et moléculaire

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

Un atome, placé dans un faisceau lumineux, subit de la part de ce dernier divers types de forces qu'on appelle des forces radiatives. Le cours de cette année a été consacré à une étude des propriétés de ces forces et à leur interprétation en termes d'échanges d'impulsion entre atomes et photons.

Plusieurs raisons expliquent l'intérêt actuellement porté aux forces radiatives. L'analyse du mouvement d'un atome dans une onde lumineuse soulève tout d'abord un certain nombre de problèmes théoriques intéressants (corrélations entre les degrés de liberté internes et les degrés de liberté de translation, diffusion d'impulsion liée aux fluctuations des forces radiatives...). L'utilisation de ces forces, rendue plus aisée grâce au développement des sources laser, constitue par ailleurs un nouveau moyen d'action sur les atomes, ouvrant des perspectives intéressantes dans de nombreux domaines (piégeage et refroidissement radiatifs, spectroscopie à très haute résolution...).

Plusieurs approches possibles au problème des forces radiatives ont été présentées dans le cours, par ordre de complexité croissante.

### APPROCHE CLASSIQUE

Le faisceau lumineux est décrit par une *onde électromagnétique classique*, de fréquence (angulaire)  $\omega$ , et dont l'amplitude  $\mathcal{E}_0$  et la phase  $\Phi$  varient d'un point à l'autre de l'espace. Cette onde met en mouvement d'oscillation forcée les électrons d'un atome, faisant ainsi apparaître un moment dipolaire électrique oscillant à la même fréquence  $\omega$  que l'onde. Dans cette première approche, le dipole atomique est traité simplement comme un *dipole classique*. Enfin, le centre de masse de l'atome est supposé initialement immobile.

### *Les deux types de forces*

On part de l'expression de la *force de Lorentz* exercée par les champs électrique et magnétique de l'onde incidente sur les constituants de l'atome. L'atome étant globalement neutre, la force électrique fait intervenir le dipôle atomique et le gradient du champ électrique. L'expression de la force magnétique est transformée par utilisation des équations de Maxwell. Finalement, la force totale est moyennée sur une période de  $2\pi/\omega$  de l'onde lumineuse car, seule, cette force moyenne « séculaire » a un effet cumulatif.

Un calcul simple permet alors de séparer la force séculaire agissant sur l'atome en deux composantes.

— Une force  $\vec{F}_1$ , proportionnelle au *gradient de phase* de l'onde lumineuse et à la composante du dipôle oscillant en *quadrature* avec l'onde.

— Une force  $\vec{F}_2$ , proportionnelle au *gradient d'amplitude* de l'onde et à la composante du dipôle *en phase* avec l'onde.

Si l'onde lumineuse est une onde plane, le gradient d'amplitude est nul, et  $\vec{F}_1$  est la seule force présente. Si l'onde lumineuse est une onde stationnaire, la phase est nulle, et c'est  $\vec{F}_2$  qui est alors non nulle.

### *Interprétation en termes de diffusion et de redistribution de photons*

L'interprétation physique des résultats précédents repose sur une analyse des échanges d'énergie et d'impulsion entre l'atome et l'onde lumineuse.

On commence par évaluer le travail moyen effectué par la force de Lorentz sur les constituants de l'atome, ce qui permet de relier l'énergie incidente absorbée par l'atome par unité de temps à la composante du dipôle en quadrature avec le champ.

Si l'onde lumineuse est une onde plane, de vecteur d'onde  $\vec{k}$  et de fréquence  $\omega$ , les photons qui lui sont associés ont chacun une énergie  $\hbar\omega$  et une impulsion  $\hbar\vec{k}$ . La force radiative (qui se réduit à  $\vec{F}_1$  pour une onde plane) peut alors être reliée directement à l'impulsion gagnée par l'atome par unité de temps lors de l'absorption des photons incidents. En fait, ces photons absorbés sont ensuite réémis spontanément dans toutes les directions de l'espace, mais l'impulsion reperdue est alors nulle en moyenne, car l'émission spontanée se produit avec des probabilités égales dans deux directions opposées. La force  $\vec{F}_1$  apparaît donc comme une *force de diffusion*, l'atome faisant passer des photons du « mode initialement non vide » du champ (onde plane incidente) vers les autres modes initialement vides.

La force  $\vec{F}_2$  n'est non nulle que si l'onde incidente est la superposition linéaire d'au moins deux ondes planes 1 et 2, de même fréquence ( $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ), mais de vecteurs d'onde différents ( $\vec{k}_1 \neq \vec{k}_2$ ), de manière à avoir un gradient d'amplitude non nul. Plusieurs modes du champ (au moins deux) sont alors initialement non vides. L'analyse des échanges d'impulsion montre dans ce cas que la force  $\vec{F}_2$  est une *force de redistribution* : l'atome absorbe un photon dans un mode initialement non vide 1, et le réémet de manière *stimulée* dans un autre mode initialement non vide 2. Globalement, l'énergie du champ ne change pas, car  $\omega_1 = \omega_2$ , mais, comme  $\vec{k}_1 \neq \vec{k}_2$ , le champ perd l'impulsion  $\hbar(\vec{k}_1 - \vec{k}_2)$  qui est gagnée par l'atome. L'importance du déphasage entre les deux ondes 1 et 2 au point où se trouve l'atome est soulignée, car le sens de la redistribution ( $1 \rightarrow 2$  ou  $2 \rightarrow 1$ ) en dépend.

#### *Application à un électron libre dans une onde lumineuse*

Les notions précédentes sont appliquées ensuite à l'exemple simple d'un électron libre évoluant dans une onde lumineuse.

Le mouvement d'oscillation rapide de l'électron dans l'onde lumineuse est calculé au moyen de l'équation de Abraham-Lorentz, l'amortissement de l'électron étant décrit dans cette équation par le terme de réaction de rayonnement (interaction de l'électron avec son champ propre). La résolution de cette équation donne les composantes en quadrature et en phase du mouvement d'oscillation de l'électron que l'on reporte ensuite dans les expressions de  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$ .

La force  $\vec{F}_1$  apparaît comme étant liée à la *diffusion Thomson* des photons incidents par l'électron, la *pression de radiation* correspondante étant proportionnelle à l'intensité lumineuse.

La force  $\vec{F}_2$ , quant à elle, *dérive d'une énergie potentielle* qui n'est autre que l'énergie cinétique moyenne de vibration de l'électron dans l'onde lumineuse. La force  $F_2$ , appelée encore *force pondéromotrice*, repousse donc l'électron hors des régions de haute intensité lumineuse.

Les ordres de grandeur de ces deux forces sont enfin discutés ainsi que les phénomènes observables avec des impulsions laser.

#### APPROCHE SEMI-CLASSIQUE

Le problème des forces radiatives est repris à partir des équations quantiques d'évolution des variables atomiques, l'onde lumineuse continuant elle à être traitée classiquement.

*Théorème d'Ehrenfest et équations de Bloch optiques*

Les équations de Heisenberg décrivant l'évolution des *opérateurs* atomiques externes (position et impulsion du centre de masse) et internes (dipôle électrique) sont déduites de l'hamiltonien donnant l'énergie de l'atome dans l'onde lumineuse.

Pour obtenir la force radiative moyenne agissant sur l'atome, on prend alors la *valeur moyenne*, dans l'état quantique atomique, des équations de Heisenberg relatives au centre de masse (Théorème d'Ehrenfest). L'expression classique de la force radiative obtenue plus haut est alors retrouvée moyennant certaines conditions qui sont précisées.

— Le paquet d'ondes atomique initial doit avoir des dimensions petites devant la longueur d'onde lumineuse.

— La *largeur naturelle*  $\hbar\Gamma$  de l'état excité  $e$  ( $\Gamma$  étant l'inverse,  $1/\tau$ , de la durée de vie radiative  $\tau$  de  $e$ ) doit être grande devant l'énergie de recul,  $E_{\text{rec}} = \hbar^2 k^2 / 2M$ , de l'atome (de masse  $M$ ) lors de l'émission ou de l'absorption d'un photon. Cette dernière condition, largement réalisée pour la plupart des transitions optiques permises, exprime que les variables internes ont un temps d'amortissement beaucoup plus court que les temps d'évolution caractéristiques des variables externes.

Les équations d'évolution des valeurs moyennes du dipôle d'un atome à deux niveaux sont enfin établies, l'effet de l'émission spontanée étant rajouté dans ces équations de manière phénoménologique. On obtient ainsi les « équations de Bloch optiques ». Une représentation géométrique en termes de spin fictif permet de préciser l'analogie très étroite qui existe entre ces équations et celles décrivant l'évolution d'un spin  $1/2$  interagissant avec un champ de radiofréquence.

*Pression de radiation et forces dipolaire pour un atome à deux niveaux initialement immobile*

La solution stationnaire des équations de Bloch optiques pour un atome à deux niveaux, initialement immobile dans une onde monochromatique, est calculée, puis reportée dans les expressions de  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$ . Les résultats obtenus sont alors discutés en fonction des divers paramètres physiques du problème : fréquence de Rabi  $\omega_1 = -d \mathcal{E}_0 / \hbar$  caractérisant le couplage entre le dipôle atomique  $d$  et l'amplitude  $\mathcal{E}_0$  de l'onde lumineuse, désaccord  $\delta = \omega - \omega_0$  entre la fréquence  $\omega$  de l'onde et la fréquence atomique  $\omega_0$ , largeur naturelle  $\Gamma$  de l'état excité  $e$ .

La force  $\vec{F}_1$  est liée à la *diffusion résonante* des photons incidents par l'atome. Elle est maximale à résonance, et varie avec  $\delta = \omega - \omega_0$  comme

une *courbe d'absorption de Lorentz*. Elle est proportionnelle à l'intensité lumineuse  $I$  à basse intensité et tend vers une limite  $\hbar \vec{k} \Gamma/2$ , indépendante de  $I$ , quand  $I$  tend vers l'infini.

La force  $\vec{F}_2$  dérive d'un potentiel et est dirigée suivant le gradient de l'intensité lumineuse. Sa variation avec  $\omega - \omega_0$  est celle d'une *courbe de dispersion*. Si  $\omega > \omega_0$ ,  $\vec{F}_2$  repousse l'atome hors des régions de forte intensité. Si  $\omega < \omega_0$ ,  $\vec{F}_2$  attire au contraire l'atome vers ces régions.

Les ordres de grandeur de  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont enfin discutés et comparés avec ceux trouvés plus haut pour un électron libre.

#### *Dépendance en vitesse des forces radiatives*

Le calcul des forces radiatives est repris en supposant maintenant que l'atome a une vitesse initiale non nulle  $\vec{v}_0$ .

Dans le cas où l'onde lumineuse est une onde plane, les résultats obtenus s'interprètent simplement en termes *d'effet Doppler*. Suivant sa vitesse, l'atome est plus ou moins en résonance avec l'onde, et la force est plus ou moins grande.

Dans le cas d'une onde stationnaire, les problèmes sont plus complexes. Les déplacements Doppler des deux ondes planes formant l'onde stationnaire ont des signes opposés, et des processus multiphotoniques résonnants apparaissent lorsque le désaccord  $\delta$  est égal à un nombre impair de fois le déplacement Doppler  $k v_0$  :  $\delta = (2n + 1) k v_0$ . L'atome peut passer du niveau inférieur  $f$  au niveau supérieur  $e$  en absorbant  $n + 1$  photons d'une onde et en émettant de manière stimulée  $n$  photons dans l'autre. Il retombe enfin dans l'état fondamental par émission spontanée. Apparaissent ainsi des forces radiatives d'un type nouveau, faisant intervenir à la fois une redistribution et une diffusion. Un traitement qualitatif de ces forces est présenté (utilisant l'analogie mentionnée plus haut avec le problème de la résonance magnétique), de même qu'un traitement quantitatif basé sur la théorie des perturbations et la méthode des fractions continues.

La limite des faibles vitesses fait l'objet d'une étude spéciale. L'objectif du calcul est de déterminer si la force linéaire en  $v_0$  amortit le mouvement atomique (*force de friction* intéressante pour réaliser un *refroidissement radiatif*), ou au contraire l'amplifie (échauffement).

On montre que, pour une onde plane, la force linéaire en  $v_0$  est une force de friction si  $\omega < \omega_0$ , et on détermine les conditions pour lesquelles cette force de friction est maximale.

La force d'ordre zéro en  $v_0$  est cependant toujours non nulle pour une onde plane, et il semble plus intéressant d'utiliser une onde stationnaire pour avoir une force de friction pure (sans terme d'ordre zéro en  $v_0$ ). Un tel calcul est présenté à partir d'une résolution approchée des équations de Bloch optiques utilisant la première correction par rapport à l'approximation adiabatique. Le résultat du calcul indique que le signe de la force change à haute intensité, et d'autres schémas possibles, permettant d'éviter un tel changement de signe, sont alors présentés.

#### EFFETS PHYSIQUES LIÉS AU CARACTÈRE QUANTIQUE DES VARIABLES ATOMIQUES

La dernière partie du cours est consacrée à l'étude d'un certain nombre d'effets quantiques atomiques. Au lieu de considérer uniquement l'évolution du centre du paquet d'ondes, on s'intéresse maintenant à *l'évolution du paquet d'ondes tout entier*.

Afin de concentrer la discussion sur les effets quantiques atomiques, l'émission spontanée est négligée, ce qui est valable si le temps d'interaction  $T$  est court devant la durée de vie radiative  $\tau$ . L'état atomique peut alors être décrit par une fonction d'onde à deux composantes, représentant l'amplitude de probabilité de trouver l'atome au point  $\vec{r}$  dans l'état  $e$  ou  $f$ .

#### *Effet Stern et Gerlach optique*

L'équation de Schrödinger décrivant l'évolution de la fonction d'onde à deux composantes est formellement tout à fait analogue à celle d'une particule de masse  $M$ , de spin  $1/2$ , évoluant dans un champ magnétique statique inhomogène, dont l'amplitude et la direction varient d'un point à l'autre de l'espace.

Cette analogie permet de comprendre aisément que le paquet d'ondes associé à un atome en mouvement dans une onde lumineuse puisse, dans certaines conditions, se *dédoubler* en deux paquets d'ondes différents (comme dans l'effet Stern et Gerlach ordinaire).

Plusieurs situations susceptibles de donner naissance à un effet Stern et Gerlach optique sont envisagées, et les ordres de grandeur des séparations spatiales entre les deux paquets d'ondes évalués. Le problème de l'entrée de l'atome dans un faisceau lumineux est enfin examiné dans deux situations extrêmes : la limite adiabatique où le paquet d'ondes ne se dédouble pas, la limite non adiabatique où il se dédouble.

### *Diffraction d'une onde de de Broglie par un faisceau lumineux*

Dans une expérience de diffraction usuelle, une onde lumineuse est diffractée par un réseau matériel. On décrit ici la situation inverse où c'est une onde de matière qui est diffractée par un réseau lumineux.

Le déphasage subi par l'onde de de Broglie à la traversée d'une onde lumineuse progressive ou stationnaire est calculé à partir de l'équation de Schrödinger. La transformée de Fourier spatiale de la fonction d'onde après la traversée du faisceau lumineux permet alors de déterminer la distribution finale d'impulsion de l'atome.

Les résultats obtenus sont interprétés à la fois en termes corpusculaires (échanges d'impulsion entre atomes et photons) et en termes ondulatoires (diffraction de Bragg de l'onde de de Broglie).

Le lien avec l'effet *Kapitza-Dirac*, observable sur des électrons libres diffractés par une onde lumineuse stationnaire est enfin discuté.

### **ENSEIGNEMENT DONNÉ A L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX I**

Six cours ont été donnés à l'Université de Bordeaux I, pendant le mois de novembre 1982. Ces cours ont porté sur les processus d'interaction entre matière et rayonnement.

Après une présentation simple de la théorie quantique du rayonnement, plusieurs types d'évolution quantique apparaissant sur des systèmes atomiques interagissant avec des champs de rayonnement ont été discutés : précession de Rabi cohérente d'un atome à deux ou trois niveaux irradié par une onde laser monochromatique et intense, et manifestations expérimentales de cette précession de Rabi ; décroissance exponentielle d'un niveau atomique discret couplé à un continuum (photoionisation, émission spontanée). La possibilité d'une transition continue entre ces deux régimes extrêmes a été discutée sur un modèle simple.

Une discussion physique des processus radiatifs a été ensuite présentée dans le cadre général de la théorie d'un petit système (généralisant l'atome) couplé à un grand réservoir (généralisant le champ). Les contributions respectives des fluctuations quantiques du champ du vide et de la réaction de rayonnement (interaction de l'électron avec son champ propre) ont été identifiées et interprétées physiquement en termes de fonctions de corrélation et susceptibilités linéaires des deux systèmes couplés.

Enfin, à la demande des auditeurs, un certain nombre d'expériences récentes ont été passées en revue : tests de la nature quantique de la lumière,

tests de l'électrodynamique quantique, mise en évidence d'une violation de la parité en physique atomique.

C. C.-T.

#### SÉMINAIRES 1982-1983

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 :

G. NOUCHI (Laboratoire d'Optique Moléculaire, Université de Bordeaux I), *Relaxation et réorientation moléculaires dans le domaine des picosecondes : Etude de quelques exemples.*

P. JAEGLE (Laboratoire de Spectroscopie Atomique et Ionique, Université de Paris XI - Orsay), *Physique atomique dans les plasmas d'intérêt thermonucléaire.*

J.M. RAIMOND (Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'E.N.S. - Paris), *Absorption et émission collective de rayonnement par un ensemble microscopique d'atomes de Rydberg.*

D. PRITCHARD (M.I.T. et Laboratoire des Collisions Atomiques et Moléculaires - Orsay), *Deflection and diffraction of atoms in high intensity optical standing waves.*

M. BROYER (Laboratoire de Spectrométrie Ionique et Moléculaire - Villeurbanne), *Quelques expériences avec des jets supersoniques. Etats de Rydberg moléculaires et agrégats.*

U. FANO (University of Chicago), *Collisions et Réactions en Chimie Physique.*

#### ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

M. Claude COHEN-TANNOUJDI 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 12 enseignants-chercheurs (professeurs, maîtres de conférences, maîtres-assistants, agrégés-préparateurs), 29 chercheurs au C.N.R.S. (directeurs, maîtres, chargés et attachés de recherche), 6 chercheurs étrangers, 11 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 de 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 1982, ainsi que celles des thèses (de 3<sup>e</sup> cycle et d'Etat) soutenues au cours de cette même année.

#### PUBLICATIONS DU LABORATOIRE EN 1982

J. VIGUÉ, *Semiclassical approximation applied to the vibration of diatomic molecules* (*Ann. Phys. Fr.*, 3, 155, 1982).

B. GIRARD, N. BILLY, J. VIGUÉ, J.C. LEHMANN, *Two photon optical pumping of CO ( $A^1\Pi$ )* (*Chem. Phys. Letters*, 92, 615, 1982).

J.C. LEHMANN, J. VIGUÉ, « Predissociation of iodine B state », dans *Photon assisted collisions and related topics*, édité par N.K. Rahmann et C. Guidotti (Harwood Acad Publ.), 1982.

N. BILLY, C. LHUILLIER, J.P. FAROUX, *Zeeman patterns study in the 2p<sup>5</sup>nd configurations of neon : experimental results and first analysis* (*J. Phys. B*, 15, 1627, 1982).

N. BILLY, C. LHUILLIER, *Approche diagrammatique de l'étude d'un hamil-*

tonien d'un atome à plusieurs électrons : I. Formalisme (*Ann. Phys. Fr.*, 4, 309, 1982).

S. HAROCHE, *Le rayonnement des atomes géants (La Recherche*, 13, n° 130, 222, 1982).

G. VITRANT, J.M. RAIMOND, M. GROSS, S. HAROCHE, *Rydberg to plasma evolution in a dense gas of very excited atoms (J. Phys. B*, 15, L-49, 1982).

C. FABRE, *Etats très excités des atomes alcalins : I. Description générale et propriétés radiatives (Ann. Phys. Fr.*, 4, 5, 1982).

G. TRÉNEC, P.J. NACHER et M. LEDUC, *Single frequency operation of a colour centre laser in the 1.0-1.15  $\mu\text{m}$  range (Opt. Commun.*, 43, 37, 1982).

M. PINARD, C.G. AMINOFF, *Effet de déplacements lumineux dans une expérience de pompage sélectif en vitesses (J. Phys.*, 43, 1327, 1982).

F. BIRABEN, P. LABASTIE, *Balayage d'un laser à colorant continu monomode sur 150 GHz (Opt. Commun.*, 41, 49, 1982).

E. GIACOBINO, F. BIRABEN, *Energy level measurements and Lambshift in helium (J. Phys. B*, 15, L-385, 1982).

P. LABASTIE, F. BIRABEN, E. GIACOBINO, *Optogalvanic spectroscopy of the ns and nd Rydberg states of xenon (J. Phys. B*, 15, 2595, 1982).

P. LABASTIE, E. GIACOBINO, F. BIRABEN, *Collision effects in Rydberg states of xenon (J. Phys. B*, 15, 2605, 1982).

B. CAGNAC, *High resolution spectroscopy with multiple-beam laser techniques (Phil. Trans. Roy. Soc.*, A 307, 633, 1982).

S. REYNAUD, M. HIMBERT, J. DALIBARD, J. DUPONT-ROC, C. COHEN-TANNOUDJI, *Compensation of Doppler broadening by light shifts in two photon absorption (Optics Comm.*, 42, 39, 1982).

S. REYNAUD, C. COHEN-TANNOUDJI, *Dressed atom approach to collisional redistribution (J. Phys.*, 43, 1021, 1982).

J. DALIBARD, J. DUPONT-ROC, C. COHEN-TANNOUDJI, *Vacuum fluctuations and radiation reaction : identification of their respective contributions (J. Phys.*, 43, 1617, 1982).

M. BÉRARD, P. LALLEMAND, *Spectre de la lumière doublement diffusée par un gaz de molécules linéaires (C.R. Acad. Sc.*, 294, 1167, 1982).

J.M. RAIMOND, P. GOY, M. GROSS, C. FABRE, S. HAROCHE, *Collective absorption of blackbody radiation by Rydberg atoms in a cavity : an experiment on Bose statistics and Brownian motion (Phys. Rev. Lett.*, 49, 117, 1982).

S. HAROCHE, P. GOY, J.M. RAIMOND, C. FABRE, M. GROSS, *Exploration of radiative properties of very excited atoms (Phil. Trans. R. Soc. London, A 30, 59, 1982).*

S. HAROCHE, C. FABRE, J.M. RAIMOND, P. GOY, M. GROSS, L. MOI, *Rydberg atoms and radiation in a resonant cavity. I - Theory (J. Phys. Colloque C2, 43, C2-265, 1982).*

C. FABRE, S. HAROCHE, J.M. RAIMOND, P. GOY, M. GROSS, L. MOI, *Rydberg atoms and radiation in a resonant cavity. II - Experiments (J. Phys. Colloque C2, 43, C2-275, 1982).*

J.M. RAIMOND, P. GOY, M. GROSS, C. FABRE, S. HAROCHE, *Statistics of millimeter-wave photons emitted by a Rydberg-atom maser : an experimental study of fluctuations in single-mode superradiance (Phys. Rev. Letters, 49, 1924, 1982).*

C. FABRE, *Etats très excités des atomes alcalins. II - Etude expérimentale de quelques effets radiatifs et spectroscopie (Ann. Phys. Fr., 4, 247, 1982).*

J.M. RAIMOND, P. GOY, S. HAROCHE, *Collective interaction of Rydberg states with microwave (Appl. Phys., B 29, 168, 1982).*

P. GOY, J.M. RAIMOND, G. VITRANT, S. HAROCHE, *Millimeter-wave spectroscopy in cesium Rydberg states. Quantum defects, fine and hyperfine structure measurements (Phys. Rev., A 26, 2733, 1982).*

M. GROSS, S. HAROCHE, *Superradiance : An essay on the theory of collective spontaneous emission (Physics Reports, 93, 301, 1982).*

C. FABRE, S. HAROCHE, « Spectroscopy of one- and two-electron Rydberg atoms », in : *Rydberg States of Atoms and Molecules*, R.F. Stebbings and F.B. Dunning, editors, Cambridge University Press, 1982.

P. GOY, J.M. RAIMOND, G. VITRANT, C. FABRE, S. HAROCHE, M. GROSS, in : *Precision measurements and fundamental constants. II*, B. Taylor and W. Phillips ed., N.B.S. spec. publ., 617, 1982.

M.A. BOUCHIAT, M. POIRIER, *Possible  $M_1 - E_1$  interference effects in  $M_1$  forbidden transitions with crossed magnetic and electric fields (J. Phys., 43, 72, 1982).*

M.A. BOUCHIAT, L. POTTIER, *Light-polarization modifications in a multi-pass cavity. Theoretical and experimental analysis (Appl. Phys., B 29, 43, 1982).*

M.A. BOUCHIAT, J. GUÉNA, L. HUNTER, L. POTTIER, *Observation of a parity violation in cesium (Physics Lett., 117 B, 358, 1982).*

C. LHUILLIER, F. LALOË, *Transport properties in a spin polarized gas, I (J. Phys., 43, 197, 1982).*

C. LHUILLIER, F. LALOË, *Transport properties in a spin polarized gas, II* (*J. Phys.*, 43, 225, 1982).

C.G. AMINOFF, M. PINARD, *Velocity selective optical pumping* (*J. Phys.*, 43, 263, 1982).

M. PINARD, L. JULIEN, F. LALOË, *Pompage optique doublement sélectif en vitesses* (*J. Phys.*, 43, 601, 1982).

M. LEDUC, G. TRÉNEC, *High power CW dye laser emission around 888 nm* (*Revue Phys. Appl.*, 17, 355, 1982).

V. LEFÈVRE-SEGUIN, P.J. NACHER, F. LALOË, *Relaxation nucléaire de  $^3\text{He}$  dans un champ magnétique inhomogène* (*J. Phys.*, 43, 737, 1982).

V. LEFÈVRE-SEGUIN, P.J. NACHER, C. LHUILLIER, F. LALOË, *Le second coefficient du viriel de H atomique : effet des variables internes* (*J. Phys.*, 43, 1199, 1982).

P.J. NACHER, M. LEDUC, G. TRÉNEC, F. LALOË, *Polarisation nucléaire de  $^3\text{He}$  gazeux par pompage optique laser* (*J. Phys. Lettres*, 43, L-525, 1982).

L. JULIEN, M. PINARD, *Optogalvanic detection of optical pumping* (*J. Phys.*, B 15, 2881, 1982).

M. LEDUC, *Polarisation nucléaire de l'hélium 3 par un laser à centres colorés* (*Revue du C.E.T.H.E.D.E.C.*, n° NS 82-2, page 3, 4<sup>e</sup> trimestre 1982).

A.M. CAZABAT, D. LANGEVIN, J. MEUNIER, A. POUCHELON, *Critical behaviour in microemulsions* (*J. Phys. Lettres*, 43, L-89, 1982).

J. MEUNIER, D. LANGEVIN, *Optical reflectivity of a diffuse interface* (*J. Phys. Lettres*, 43, L-185, 1982).

A.M. CAZABAT, D. LANGEVIN, O. SORBA, *Anomalous viscosity of microemulsions near a critical point* (*J. Phys. Lettres*, 43, 505, 1982).

A.M. CAZABAT, D. LANGEVIN, J. MEUNIER, A. POUCHELON, *Critical behavior in microemulsions* (*Adv. in Coll. and Interf. Sc.*, 16, 175, 1982).

R. ZANA, J. LANG, O. SORBA, A.M. CAZABAT, D. LANGEVIN, *Ultrasonic investigation of critical behaviour and percolation phenomena in microemulsions* (*J. Phys. Lettres*, 43, L-829, 1982).

D. LANGEVIN, A.M. CAZABAT, J. MEUNIER, *Les microémulsions* (*Le Courrier du C.N.R.S.*, supplément au n° 5, Images de la Physique, 1982).

D. CHATENAY, D. LANGEVIN, J. MEUNIER, D. BOURDON, P. LALANNE, A.M. BELLOCQ, *Measurement of low interfacial tensions. Comparison between a light scattering technique and the spinning drop technique* (*J. Disp. Sci. Tech.*, 3, 245, 1982).

E. GIACOBINO, S. CRIBIER, G. GRYNBERG, F. BIRABEN, *Study of transients in intrinsic optical bistability* (*Appl. Phys.*, B 29, 170, 1982).

D. DELANDE, C. CHARDONNET, J.C. GAY, *Rydberg atoms in magnetic fields. The Landau limit of the atomic spectrum* (*Optics Comm.*, 42, 25, 1982).

D. DELANDE, C. CHARDONNET, F. BIRABEN, J.C. GAY, *Quasi-Landau resonances* (*J. Physique*, 43, C2-97, 1982).

### THÈSES

#### 3° cycle

Philippe JACQUIER (Université Pierre et Marie Curie, septembre 1982), *Etude à l'aide d'un laser pulsé de la transition très interdite 6s-8s du césium.*

Pierre LABASTIE (Université Pierre et Marie Curie, septembre 1982), *Spectroscopie opto-galvanique des états de Rydberg du Xenon - Application à l'étude des collisions Xe (très excité) - Xe (état fondamental).*

Guy VITRANT (Université Pierre et Marie Curie, mars 1982), *Mise en évidence expérimentale de quelques effets d'interactions de Van der Waals entre atomes de Rydberg.*

#### Etat

Nicolas BILLY (Université Pierre et Marie Curie, février 1982), *Etude de l'effet Zeeman des configurations  $2p^5nd$  du néon, mise en évidence de l'importance des interactions de configurations. Contribution à l'étude des perturbations de l'état  $A \ ^1\Pi$  de CO.*

#### Docteur-ingénieur

Alain POUCHELON (Université Pierre et Marie Curie, février 1982), *Etude par diffusion de la lumière d'un système polyphasique modèle pour la récupération assistée du pétrole. Origine des bases tensions interfaciales.*

### ACTIVITÉS DIVERSES, CONGRÈS, CONFÉRENCES

— Séminaires à l'Université de Munich et au Max Planck Institut Gar-ching (mai 1982), *Are photons essential ? ; Simple physical pictures for radiative corrections : the Lamb-shift and g-2.*

— Conférence au Colloque de la Société Française de Physique à Strasbourg (mai 1982), *Spectroscopie laser à très haute résolution*.

— Séminaire à l'Institut Von Laue-Langevin à Grenoble (juin 1982), *Interprétation physique des corrections radiatives : le déplacement de Lamb et  $g-2$* .

— Série de 7 cours à l'école d'été de physique théorique des Houches (juillet 1982), *Introduction to quantum electrodynamics*.

— Conférence invitée à la Conférence Internationale de Spectroscopie Raman, Bordeaux (septembre 1982), *Raman effect under intense laser fields*.