

## Physique atomique et moléculaire

M. Claude COHEN-TANNOUDJI, professeur

Le cours de cette année a porté sur l'étude de quelques propriétés du champ électromagnétique.

On a commencé, dans une première partie, par établir certains résultats relatifs aux équations de Maxwell et au développement en ondes multipolaires du champ électromagnétique. Ce développement est en effet particulièrement bien adapté à tous les problèmes de Physique atomique où le moment cinétique du rayonnement joue un rôle important.

Pour cela, on a tout d'abord montré que le développement du champ en ondes planes progressives fait apparaître une fonction vectorielle transverse

$\vec{\alpha}(\vec{k})$  (où  $\vec{k}$  est le vecteur d'onde) que l'on peut interpréter comme la fonction d'onde du photon dans l'espace des impulsions. Les expressions qui donnent l'énergie, l'impulsion et le moment cinétique du champ apparaissent en effet

comme la valeur moyenne dans la fonction d'onde  $\vec{\alpha}(\vec{k})$  des opérateurs quantiques associés à ces grandeurs physiques. Quant au caractère vectoriel de la fonction d'onde, il est lié au fait que le photon a un spin égal à 1.

On a ensuite recherché l'expression générale, dans l'espace des impulsions, des fonctions propres du moment cinétique total (orbital et de spin). Les harmoniques sphériques vectorielles ont été ainsi introduites ainsi que leurs combinaisons linéaires qui tiennent compte du caractère transversal du champ.

Les résultats ainsi obtenus ont permis alors d'étudier en détail la structure des ondes multipolaires électriques et magnétiques, c'est-à-dire des ondes électromagnétiques correspondant à des photons d'énergie, de moment cinétique et de parité bien définis. Les formules permettant de passer de la base des ondes multipolaires à celle des ondes planes (et réciproquement) ont été établies.

On a ensuite montré que le champ rayonné à grande distance par des sources caractérisées par leur densité de charge, de courant et de magnétisation pouvait être analysé en ondes multipolaires, l'amplitude de chacune de ces ondes étant reliée à un paramètre caractéristique des sources, que l'on appelle moment multipolaire, et dont on a établi l'expression exacte.

La deuxième partie du cours a été consacrée à la description lagrangienne et hamiltonienne du champ électromagnétique. On a montré que les équations couplées d'un système de charges interagissant avec un champ électromagnétique (équations de Maxwell en présence des charges + équations du mouvement des charges en présence des champs) pouvaient être globalement déduites d'un principe variationnel. Après avoir ainsi introduit le Lagrangien et le Hamiltonien d'un ensemble de charges et de champs interagissant mutuellement, on a montré que l'expression des grandeurs physiques importantes, comme l'énergie totale, l'impulsion totale, le moment cinétique total, pouvait être déduite du Lagrangien.

Le problème général de la jauge et celui de l'invariance de jauge de la théorie ont été ensuite examinés. On a montré comment on pouvait choisir une jauge particulière permettant d'éliminer complètement le potentiel scalaire et les champs longitudinaux. Avec un tel choix de jauge, il est possible d'associer un moment conjugué à chaque variable dynamique du système, et la théorie se prête alors particulièrement bien à la quantification canonique. Les relations de commutation entre grandeurs conjuguées ont été posées et les opérateurs de création et d'annihilation d'un photon définis.

Le cours de cette année a ainsi permis de mettre en place les fondements à partir desquels on peut bâtir une formulation simple (non-covariante) de l'électrodynamique quantique et discuter un certain nombre d'effets physiques jouant un rôle important en physique atomique et moléculaire.

#### SÉMINAIRES

Alors que le cours était consacré à la discussion et à l'approfondissement de quelques notions de base, les séminaires ont eu pour but de présenter un certain nombre de développements très récents en physique atomique et moléculaire. Il a semblé intéressant d'orienter la majeure partie de ces séminaires autour d'un thème très précis : l'impact des lasers, et plus particulièrement des lasers à colorant, sur les études poursuivies en physique atomique et moléculaire. Un tel sujet répondait en effet aux préoccupations de nombreux chercheurs travaillant dans les laboratoires de la région parisienne. Douze séminaires ont été organisés :

S. LIBERMAN (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), *Application des lasers à colorant continu à la spectroscopie atomique et moléculaire* ;

S. HAROCHE (Laboratoire de Spectroscopie hertzienne de l'E.N.S.), *Application des lasers à colorant pulsés à la spectroscopie atomique et moléculaire* ;

C. BORDÉ (Laboratoire de Physique des Lasers, Saint-Denis), *Spectroscopie d'absorption saturée des molécules au moyen de lasers à gaz* ;

F. HARTMANN (Laboratoire de l'Horloge atomique, Orsay), *Applications métrologiques des lasers stabilisés* ;

G. GRYNBERG (Laboratoire de Spectroscopie hertzienne de l'E.N.S.), *Spectroscopie multiphotonique d'absorption sans élargissement Doppler* ;

J.-C. LEHMANN (Laboratoire de Spectroscopie hertzienne de l'E.N.S.), *Excitation laser de vapeurs moléculaires : effet Hanle, prédissociation, orientation* ;

D. J. BRADLEY (Imperial College, Londres), *Selective excitation and photoionization by dye lasers* ;

W. WALTHER (Université de Cologne), *Spectroscopy with tunable dye lasers* ;

J. ANDRÄ (Freie Universität, Berlin), *Application of lasers to fast atomic beams* ;

F.-G. MAJOR (Laboratoire de l'Horloge atomique, Orsay), *Radiofrequency spectroscopy of ions suspended by electromagnetic fields* ;

J. MARGERIE (Laboratoire d'Optique, Université de Caen), *Pompage optique des atomes de mercure et de cadmium dans l'état métastable  $^3P_0$*  ;

D. OSTROWSKY (Laboratoire central de Recherches Thomson-CSF, Corbeville), *Optique intégrée. Composants optiques à l'échelle des longueurs d'onde lumineuses*.

#### 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 au laboratoire.

## 1) PRÉSENTATION DU LABORATOIRE DE SPECTROSCOPIE HERTZIENNE DE L'E.N.S.

Le Laboratoire de Spectroscopie hertzienne de l'E.N.S. possède des locaux, d'une part au Laboratoire de Physique de l'E.N.S., 24, rue Lhomond, d'autre part à l'Université Paris VI (quai Saint-Bernard). Signalons également qu'un bureau vient d'être attribué à C. Cohen-Tannoudji au Collège de France.

Ce laboratoire a été dirigé successivement par A. KASTLER, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris et Directeur de recherche au C.N.R.S., puis, depuis 1970, par J. BROSSEL, Professeur à l'Université Paris VI. C'est un laboratoire associé au C.N.R.S. Une nouvelle convention d'association a été accordée pour une durée de 4 ans à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1974. Par suite de la récente nomination de C. Cohen-Tannoudji au Collège de France, la convention d'association a été passée également avec le Collège de France.

Le personnel du Laboratoire comporte 14 enseignants-chercheurs (professeurs, maîtres de conférences, maîtres-assistants, agrégés-préparateurs), 21 chercheurs au C.N.R.S. (directeurs, maîtres, chargés et attachés de recherche), 2 chercheurs étrangers et 6 élèves de grandes écoles effectuant des stages ou des thèses de 3<sup>e</sup> cycle, 23 techniciens et administratifs. Au cours des trois dernières années, une équipe du laboratoire comprenant une dizaine de chercheurs et de techniciens s'est progressivement établie à l'Université de Paris-Nord. Tout en maintenant des contacts étroits avec le Laboratoire de Spectroscopie hertzienne de l'E.N.S., cette équipe a pris maintenant une indépendance complète.

Le Laboratoire est constitué d'une douzaine d'équipes de recherches, comprenant chacune 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.

Les problèmes abordés par chacune de ces équipes et les principaux résultats obtenus au cours de l'année 1973 sont rapidement passés en revue dans le paragraphe suivant.

## 2) RÉSUMÉ DES TRAVAUX EN COURS

### a) *Bombardement électronique longitudinal et transversal*

Des atomes sont bombardés par un jet d'électrons d'énergie et de direction bien définies. On observe la lumière que ces atomes réémettent à partir des niveaux excités dans lesquels ils ont été ainsi portés. L'étude des caractéris-

tiques de cette lumière (intensité, taux de polarisation...) et de leurs variations en fonction de divers paramètres physiques, comme par exemple un champ magnétique appliqué, fournit des informations précises sur la structure de ces niveaux atomiques excités.

Au cours de l'année écoulée, on a poursuivi l'étude de la structure des niveaux  $n = 3$  et  $n = 4$  de l'hydrogène atomique obtenu par bombardement de l'hydrogène moléculaire. Les résultats expérimentaux obtenus ont permis de préciser : — la vitesse des atomes d'hydrogène obtenus par dissociation des molécules d'hydrogène, vitesse qui, au voisinage du seuil, est de l'ordre de 8 km/sec ; — le taux de peuplement des divers niveaux excités 3s, 3p, 3d de l'hydrogène ; — la valeur précise de divers écarts de structure fine (en particulier des « Lamb-shifts ») dans le niveau  $n = 3$ .

(J.-P. Descoubes, M<sup>me</sup> M. Glass, M<sup>me</sup> L. Julien)

b) *Bombardement par des ions ou des neutres d'énergie comprise entre 10 et 100 kev*

Cette méthode a été introduite pour étendre le domaine d'application du bombardement électronique. La courbure des trajectoires d'ions rapides dans un champ magnétique donné est en effet beaucoup plus faible que celle d'électrons lents (quant aux neutres, ils ne sont pas du tout déviés). On peut donc observer des croisements ou anticroisements de niveaux dans des champs magnétiques beaucoup plus élevés et mesurer par suite avec une très bonne précision des structures fines et hyperfines beaucoup plus grandes.

Au cours de l'année écoulée, on a pu mesurer avec une précision de quelques  $10^{-6}$  des structures fines sur les niveaux  $n = 2$  et  $n = 3$  de He. Des résultats intéressants ont été également obtenus sur le niveau  $n = 4$  de l'ion  ${}^4\text{He}^+$ . Une étude des configurations impaires de Ne a été entreprise.

(J.-P. Faroux, M<sup>me</sup> C. Lhuillier, N. Billy)

c) *Etude des propriétés de divers niveaux excités et métastables dans des décharges faibles au sein de gaz rares à basse pression*

On oriente par pompage optique des atomes de  ${}^3\text{He}$  préparés dans l'état métastable  $2^3\text{S}_1$  grâce à une faible décharge. Les collisions que les atomes d'Hélium subissent entre eux ou contre les électrons et ions présents dans la décharge permettent de transférer une partie de cette orientation dans l'état fondamental et dans divers niveaux excités de cet atome, ainsi que dans l'état fondamental de l'ion  ${}^3\text{He}^+$ . L'observation de la polarisation de la lumière émise par la décharge fournit de nombreux renseignements sur les

divers processus physiques qui entrent en jeu. De nombreux résultats ont été obtenus récemment, parmi lesquels nous citerons : — étude, à très basse température (4 °K), de l'échange de métastabilité entre un atome d'Hélium dans l'état métastable  $2^3S_1$  et un autre atome dans l'état fondamental  $1^1S_0$  ; — étude de la relaxation nucléaire des noyaux de  $^3\text{He}$  (dans l'état  $1^1S_0$ ) par suite de collisions sur des parois de pyrex nues ou recouvertes d'un enduit solide de gaz rare (Ne à 4 °K) ; — étude de l'échange de charge entre  $^3\text{He}^+$  et  $^3\text{He}$  ; — étude des collisions d'échange entre un état excité de  $^3\text{He}$  et l'état fondamental ; — étude théorique et expérimentale de la forme de raie de résonance magnétique dans un champ de radiofréquence inhomogène.

(J. Bossel, F. Laloë, R. Barbé, M<sup>me</sup> M. Leduc, M. Pinard)

d) *Variations de la section efficace de dépolérisation Holtsmark dans un champ magnétique élevé*

On étudie comment varie la section efficace de transfert par collision d'un atome d'un sous-niveau Zeeman à l'autre lorsqu'on fait varier l'écart énergétique  $\Delta E$  qui sépare ces 2 sous-niveaux (par balayage du champ magnétique statique). Le caractère inélastique de la collision doit se manifester lorsque  $\Delta E$  est supérieur à  $h / \tau_c$  où  $\tau_c$  est le temps de collision ( $h$  : constante de Planck).

Divers aspects théoriques de ce problème ont été étudiés. Un montage expérimental utilisant des bobines supraconductrices a également été construit. Il permet d'atteindre des champs magnétiques suffisamment élevés pour que l'écart entre sous-niveaux Zeeman soit supérieur à  $h / \tau_c$ , et que la décroissance des sections efficaces de collision soit visible.

(A. Omont, J.-C. Gay, G. Meunier, W. Schneider)

e) *Pompage optique en lumière cohérente d'états excités du Néon*

On étudie les effets de saturation qui apparaissent lors du pompage optique d'un ensemble d'atomes par un laser suffisamment intense et fonctionnant sur plusieurs modes équidistants, répartis sur un intervalle spectral grand devant la largeur Doppler. Plusieurs des effets prévus théoriquement ont pu être observés expérimentalement, en particulier l'apparition et la détection optique d'un moment hexadécapolaire électrique induit par une irradiation laser dans certains niveaux excités du Néon.

D'autre part, plusieurs informations spectroscopiques ont été obtenues sur divers états excités de  $^{21}\text{Ne}$  par pompage optique, double résonance, croise-

ments de niveaux... L'utilisation d'un laser accordable (au lieu d'un laser He-Ne oscillant sur un petit nombre de raies du néon) doit permettre d'élargir considérablement le domaine d'application de ces méthodes.

(J. Brossel, M. Ducloy, M<sup>me</sup> E. Giacobino)

f) *Etude des molécules de Van der Waals Rubidium-Gaz rare*

En étudiant la relaxation d'atomes de Rubidium préalablement orientés par pompage optique, sous l'effet des collisions qu'ils subissent contre des atomes de gaz rare, on obtient des informations intéressantes sur les molécules Rb-gaz rare qui se forment lors d'une collision à 3 corps entre un atome de Rubidium et 2 atomes de gaz rare, ainsi que sur les résonances de diffusion alcalin-gaz rare.

Un montage expérimental très élaboré est, par ailleurs, en cours de construction pour étudier certaines caractéristiques de la relaxation transversale produite par ces collisions.

(M<sup>me</sup> M.-A. Bouchiat, L. Pottier, A. Noël, P. Mora)

g) *Etude d'effets liés aux interactions entre un atome et une onde électromagnétique intense*

Les résonances observables sur des atomes et liées à l'absorption résonnante d'un photon (optique ou radiofréquence) par un atome se déforment lorsque l'intensité de l'onde électromagnétique augmente : élargissement, déplacement de la résonance ; variation de son amplitude suivant une loi plus compliquée qu'une loi de puissance... Par ailleurs, de nouvelles résonances d'ordre supérieur apparaissent et sont liées à l'absorption simultanée de plusieurs photons par le même atome.

L'étude de ces divers effets non-linéaires connaît un renouveau d'intérêt par suite de l'apparition de sources de plus en plus puissantes dans les diverses gammes de fréquence. On a relevé et corrigé un certain nombre d'erreurs importantes parues dans la littérature au sujet de ces problèmes, proposé d'autres approches théoriques, et effectué quelques vérifications expérimentales.

Un montage expérimental est par ailleurs en cours de construction pour réaliser une excitation par échelons d'atomes de Sodium au moyen de 2 impulsions fournies par 2 lasers à colorants, et observer les modulations de la lumière de fluorescence réémise après cette excitation percussive (battements quantiques).

(C. Cohen-Tannoudji, S. Haroche, J. Dupont-Roc, C. Fabre, M. Silvermann, M. Gross)

h) *Pompage optique des molécules*

On utilise des coïncidences accidentelles de raies de lasers à Argon et Krypton ionisés pour effectuer le pompage optique transversal de certains niveaux de vibration-rotation de diverses molécules (NO, I<sub>2</sub>, Se<sub>2</sub>).

On a pu ainsi mesurer plusieurs durées de vie  $\tau$  et plusieurs facteurs de Landé de rotation  $g_J$ . L'observation de résonances en lumière modulée a permis de remonter au facteur de Landé nucléaire  $g_I$  et de mettre en évidence des corrections diamagnétiques particulièrement importantes. Un autre effet intéressant a été également découvert : pour certains niveaux de vibration-rotation, une orientation spontanée des axes de rotation moléculaire apparaît le long de la direction du champ magnétique appliqué. On interprète cet effet comme étant dû à une interférence quantique entre 2 processus de prédissociation (spontanée et magnétique), qui confère aux divers sous-niveaux Zeeman une durée de vie qui dépend du nombre quantique magnétique  $M$ .

L'utilisation de lasers à colorants doit permettre d'étendre considérablement le domaine d'application de cette méthode d'étude des molécules.

(J.-C. Lehmann, G. Gouedard, M. Broyer, J. Vigué)

i) *Transitions optiques à 2 quanta sans effet Doppler*

L'idée de l'expérience est très simple. Considérons un atome qui, pour passer d'un niveau  $f$  à un niveau  $e$  distant de  $\hbar\omega_0$ , absorbe 2 photons d'énergie  $\hbar\omega$ , et supposons que les 2 photons se propagent en sens inverse. Dans le référentiel où l'atome est au repos, les fréquences des 2 ondes associées aux 2 photons subissent des déplacements Doppler (du 1<sup>er</sup> ordre) opposés, de sorte que la condition de résonance devient indépendante de la vitesse de l'atome et s'écrit  $\omega_0 = 2\omega$ . Globalement, il n'y a plus d'effet Doppler.

Un montage expérimental a été construit, permettant d'étudier cet effet sur une vapeur de Sodium irradiée par 2 faisceaux issus d'un laser à colorant et se propageant en sens inverse. Un premier résultat positif a été obtenu : on observe une raie très étroite se détachant sur un profil Doppler beaucoup plus large (correspondant à l'absorption par l'atome de 2 photons se propageant dans le même sens).

(B. Cagnac, G. Grynberg, F. Biraben)

j) *Etude des ondes de capillarité*

L'étude des caractéristiques (répartitions angulaire et spectrale) de la lumière laser diffusée en dehors de la direction de réflexion normale par

la surface d'un liquide donne des informations sur la dynamique des ondes qui se propagent sur cette surface (loi de dispersion, amortissement...).

L'étude de l'interface liquide-vapeur de  $\text{CO}_2$  près du point critique (jusqu'à 0,001 °K de ce point) a permis de déterminer l'exposant critique de la constante de capillarité.

On a également étudié par cette méthode l'interface nématique-isotrope de certains cristaux liquides, la surface libre de cholestériques, ainsi que des films monomoléculaires d'acides gras sur de l'eau.

(M<sup>m</sup> M.-A. Bouchiat, J. Meunier, M<sup>m</sup> D. Langevin, J.-C. Herpin)

### k) *Etude de la diffusion de la lumière laser par des fluides*

L'étude du spectre de la lumière diffusée en volume par un gaz comprimé ou un liquide apporte des renseignements sur les phénomènes de relaxation existant au sein du fluide.

On a ainsi étudié les relaxations vibrationnelle et rotationnelle de  $\text{SF}_6$ , ainsi que la relaxation structurale de la glycérine.

Par ailleurs, l'étude de l'élargissement des raies Raman de rotation de  $\text{CO}_2$  dans un mélange  $\text{CO}_2$ -gaz rare a permis d'obtenir des informations sur les collisions affectant l'état rotationnel de la molécule dans son état électronique fondamental.

(P. Lallemand, M<sup>m</sup> N. Ostrowsky, M<sup>ll</sup> C. Demoulin,  
M<sup>m</sup> M.-C. Herpin, M<sup>m</sup> A.-M. Cazabat)

### 3) PERSPECTIVES

Les tendances générales qui semblent se dégager dans l'orientation des recherches du Laboratoire sont liées au développement technologique très rapide des sources laser, en particulier des lasers à colorants.

Les caractéristiques très originales de ces sources lumineuses permettent d'entreprendre de nouvelles expériences et d'aborder de nouvelles études qui n'étaient pas envisageables jusqu'à un passé très récent.

Leur très grande brillance par intervalle spectral permet de saturer aisément des transitions atomiques ou moléculaires, d'exciter des transitions interdites, de faire du pompage optique à partir de niveaux métastables ou sur des deuxièmes raies de résonance, de réaliser simplement des excitations par échelons ou des transitions à plusieurs quanta.

La possibilité de balayer continûment la fréquence de ces sources permet, par ailleurs, d'exciter sélectivement des niveaux atomiques et moléculaires, d'éliminer ainsi les ambiguïtés liées aux cascades radiatives, d'étudier systématiquement la variation de certains effets physiques, comme la prédissociation magnétique, en fonction des divers nombres quantiques (vibration, rotation...).

Le fonctionnement du laser en impulsions brèves permet enfin d'observer aisément des phénomènes transitoires (décroissances radiatives, relaxations, battements quantiques...) et ouvre la voie à un nouveau type de spectroscopie, la « spectroscopie résolue dans le temps ».

#### PUBLICATIONS DU LABORATOIRE EN 1973

M. BROYER, F.-W. DALBY, J. VIGUÉ, J.-C. LEHMANN, *Observation of a New Effect on the Fluorescence of Molecular Iodine Excited by Ionized Argon or Krypton Lasers* (*Can. J. Phys.*, 51, p. 226, 1973).

M. BROYER, J. VIGUÉ, J.-C. LEHMANN, *Diamagnetic Corrections and Orientation by Predissociation in the  $B^3\Pi_0 + u$  State of Iodine* (*Opt. Commun.*, à paraître).

E. GIACOBINO-FOURNIER, *Mesure par double résonance des facteurs de Landé des niveaux  $3s_2$  et  $2p_4$  du néon pompé optiquement par un faisceau laser* (*C. R.*, 276 B, 1973, p. 535).

P. RIVIERE, C. LHUILLIER et J.-P. FAROUX, *Mesure des intervalles de structure fine  $3^3P_0$ ,  $3^3P_2$  et  $2^3P_0 - 2^3P_2$  de  $He^I$  par croisement de niveaux* (*C. R.*, 276 B, 1973, p. 607).

M. DUCLOY, *Comments on « Saturation of the Hanle Effect by Intense Broad-Band Laser Radiation »* (*Optics Comm.*, 8, n° 1, mai 1973, p. 17).

E. GIACOBINO, *Mesure de la structure hyperfine du niveau  $3s_2$  de  $^{21}Ne$*  (*Optics Comm.*, 8, n° 2, June 1973, p. 154).

G. GRYNBERG, J. DUPONT-ROC, S. HAROCHE et C. COHEN-TANNOUDJI, *Un croisement de niveaux singulier : l'anticroisement empêché ou croisement de deuxième espèce* (*J. de Phys.*, 34, juillet 1973, p. 523).

— *Exemples de croisements de deuxième espèce dans le diagramme d'énergie d'un atome habillé par des photons de radiofréquence* (*J. de Phys.*, 34, juillet 1973, p. 537).

C. COHEN-TANNOUJJI, J. DUPONT-ROC et C. FABRE, *A Quantum Calculation of the Higher Order Terms in the Bloch-Siegert Shift* (*J. Phys. B : Atom. Molec. Phys.*, 6, août 1973, Letter to the Editor).

— *An Experimental Check of Higher Order Terms in the Radiative Shift of a Coherence Resonance* (*J. Phys. B : Atom. Molec. Phys.*, 6, 1973, p. L 218).

M. DUCLOY, M.-P. GORZA et B. DECOMPS, *Higher Order Nonlinear Effects in a Gas Laser : Creation and Detection of an Hexadecapole moment in the Neon  $2p_{1/2}$  Level* (*Optics Communic.*, 8, n° 1, mai 1973, p. 21).

M.-P. GORZA, B. DECOMPS et M. DUCLOY, *Effets non-linéaires d'ordre élevé dans un laser à gaz : anomalie de saturation observable sur une transition  $J = 1 - J = 2$*  (*Optics Comm.*, 8, n° 4, août 1973, p. 323).

P. LALLEMAND et N. OSTROWSKY, *Etude par corrélation de photons de la raie dépolarisée dans la glycérine à basse température* (*Optics Comm.*, 8, n° 4, août 1973, p. 409).

S. HAROCHE, J.-A. PAISNER et A.-L. SCHAWLOW, *Hyperfine Quantum Beats Observed in Cs Vapor under Pulsed Dye Laser Excitation* (*Physical Review Lett*, 30, n° 20, May 1973, p. 948).

A. KASTLER, *The Hanle Effect and its Use for the Measurements of Very Small Magnetic Fields* (*Nuclear Instr. and Methods (NHPC)*, 110, 1973, p. 259).

D. LANGEVIN, M.-A. BOUCHIAT, *Molecular Order and Surface Tension for the Nematic Isotropic Interface of MBBA Deduced from Light Reflectivity and Light Scattering Measurements* (*Molecular Crystals and Liq. Crystal*, 22, 1973, p. 317).

— *Influence des impuretés sur l'ordre moléculaire et la tension superficielle relatifs à l'interface nématique-isotrope du méthoxy-benzilidène butylaniline* (*C. R.*, 277, 1973, 731, série B).

B. CAGNAC, G. GRYNBERG et F. BIRABEN, *Spectroscopie d'absorption multiphotonique sans effet Doppler* (*J. de Phys.*, 34, 1973, p. 845).

C. COHEN-TANNOUJJI, J. DUPONT-ROC, G. GRYNBERG, *Comment on the Momentum-Translation Approximation* (*Phys. Rev.*, A, 8, n° 5, nov. 1973, p. 2747).

J. DUPONT-ROC, M. LEDUC et F. LALOË, *Contribution à l'étude du pompage optique par échéance de métastabilité dans  $^3\text{He}$*  [*J. de Phys.*, 34, 1973, p. 961 (1<sup>re</sup> partie) ; p. 977 (2<sup>e</sup> partie)].

A. KASTLER, *Le concept d'atome depuis cent ans (J. de Phys., Colloque C10, 11-12, novembre-décembre 1973, p. C10).*

M. DUCLOY, *Nonlinear Effects in Optical Pumping of Atoms by a High-Intensity Multimode Gas Laser. General Theory (Phys. Rev. A, 8, n° 4, octobre 1973, p. 1844).*

R. BARBÉ, M. LEDUC and F. LALOË, *Magnetic Resonance with Inhomogeneous R.F. Fields (Lettere al Nuovo Cimento, 8, n° 15, 8 décembre 1973, p. 915).*

#### THÈSES

M. BROYER, *Effet Hanle et résonances en lumière modulée de la molécule  $I_2$  (Thèse de 3° cycle, Paris, 1973).*

M. PINARD, *Désorientation des niveaux excités  $n^1D_2$  de  $^3He$  par collision avec des atomes  $^3He$  dans leur état fondamental (Thèse de 3° cycle, Paris, 1973).*

J.-C. HERPIN, *Analyse spectrale de la lumière diffusée par les ondes excitées thermiquement à l'interface liquide vapeur de  $CO_2$  près du point critique (Thèse de 3° cycle, Paris, 1973).*

P. RIVIERE, *Excitation anisotrope d'une valeur par un faisceau d'atomes neutres. Application à la mesure de la structure fine des niveaux  $n = 2, 3$  de  $^4He$  (Thèse de 3° cycle, Paris, 1973).*

M. DUCLOY, *Pompage optique avec un laser : théorie non-perturbative et étude expérimentale de la réponse non-linéaire dans le cas du néon (Thèse d'Etat, Paris, 1973).*

#### OUVRAGE

C. COHEN-TANNOUJDI, B. DIU, F. LALOË, *Mécanique quantique (2 tomes, 1494 pages, Hermann, 1973. Collection : Enseignement des Sciences).*

ACTIVITÉS DIVERSES, CONGRÈS, CONFÉRENCES

Participation au Congrès de la Société française de Physique (Vittel, mai 1973) : *Physique atomique et électrodynamique quantique*.

Participation à la Gordon Conference on Atomic Physics (Andover, New Hampshire, juin 1973).

Participation à la Laser Spectroscopy Conference (Vail, Colorado, juin 1973) : *Non linear effects and coherence phenomena in Optical Pumping* (à paraître, Plenum Press).

Cours donné à l'Ecole de Saint-Cergue sur les états cohérents en physique (Saint-Cergue, septembre 1973) : *Phénomènes de cohérence en Physique atomique*.