

Physique atomique et moléculaire

M. Claude COHEN-TANNOUJJI, professeur

Le cours de cette année a porté sur l'étude des processus d'émission, d'absorption et de diffusion de photons par des atomes.

Après un bref rappel des résultats établis au cours de l'année antérieure, on a commencé par discuter le contenu physique de quelques états quantiques du champ électromagnétique libre. Les états propres de l'hamiltonien du champ décrivent bien l'aspect corpusculaire du rayonnement : ils permettent d'introduire simplement le concept de quantum d'énergie du champ, ou encore de « photon ». Un état particulièrement intéressant est le « vide » de photons. On peut considérer que, dans un tel état, il règne en chaque point de l'espace un champ fluctuant, de valeur moyenne nulle, et de temps de corrélation infiniment court (fluctuations du vide). En superposant des états correspondant à des nombres de photons différents, on construit des états du champ mieux adaptés à l'aspect ondulatoire. Il existe une classe d'états qui réalisent le meilleur compromis possible entre les aspects corpusculaire et ondulatoire de la lumière, complémentaires l'un de l'autre. Ce sont les « états cohérents » de Glauber qui ont été introduits et étudiés très en détail. On a insisté en particulier sur l'intérêt qu'il y avait à développer l'opérateur densité du rayonnement sur la base des états cohérents : un tel développement permet d'introduire dans la plupart des cas des densités de « quasi-probabilité » présentant des analogies très étroites avec les densités de probabilité de la mécanique statistique classique. Une étude comparative de plusieurs types de densités de quasi-probabilité a été présentée.

Ayant ainsi discuté les propriétés du rayonnement libre quantifié, on a ensuite considéré le hamiltonien décrivant l'interaction de ce rayonnement avec des particules chargées non-relativistes, traitées elles aussi par la mécanique quantique. La structure de ce hamiltonien d'interaction, qui fait intervenir le potentiel vecteur du champ et les impulsions des particules, a été

analysée en détail. A la demande de nombreux auditeurs, on a également étudié une autre forme équivalente du hamiltonien d'interaction qui est plus commode à utiliser lorsqu'on s'intéresse à des systèmes globalement neutres de charges liées (par exemple des atomes ou des molécules neutres), dont les dimensions sont plus petites que la longueur d'onde du rayonnement. Cette nouvelle forme fait intervenir directement les champs électrique et magnétique du rayonnement et leurs gradients, ainsi que les moments multipolaires électriques et magnétiques des systèmes de charges. On a montré en détail comment on passait d'un hamiltonien d'interaction à l'autre en effectuant une transformation unitaire sur le système global. On a expliqué également comment cette transformation faisait disparaître les interactions électrostatiques instantanées entre un système de charges liées et un autre, ce qui rend le nouveau hamiltonien d'interaction beaucoup plus commode que le précédent pour l'étude des effets de retard dans les interactions interatomiques.

Une première application du formalisme précédent a consisté à étudier la diffusion non-résonnante de photons par un atome. L'amplitude de diffusion a été calculée au 2^e ordre de la théorie des perturbations en prenant un hamiltonien d'interaction, puis l'autre. On a vérifié que les phénomènes physiques prévus ne dépendaient pas du hamiltonien choisi, mais que, suivant l'énergie du photon incident, il était plus commode d'utiliser un hamiltonien ou l'autre. Une discussion physique détaillée des variations de la section efficace de diffusion en fonction de la fréquence du rayonnement incident a été présentée. On a montré comment on passait de la diffusion Rayleigh et Raman à basse fréquence à la diffusion Thomson puis Compton à haute fréquence. L'importance accrue de l'énergie de recul que le photon incident peut communiquer à l'électron atomique a permis de développer une analogie avec l'effet Mössbauer.

On a ensuite abordé le problème des interactions entre atomes neutres par échanges de photons et la discussion des effets de retard associés. Après avoir décrit quelques approches possibles de ce problème, basées sur la théorie des perturbations stationnaires, la théorie des perturbations dépendant du temps et les représentations diagrammatiques de l'amplitude de diffusion, on a montré que le choix de certaines conditions aux limites sur le propagateur du photon (conditions aux limites de Feynman) permettait de mener simplement le calcul jusqu'au bout dans le cas de 2 atomes d'Hydrogène immobiles, dans l'état fondamental, séparés par une distance R . Une expression analytique de l'énergie d'interaction a été obtenue qui donne, à courte distance, le résultat de la théorie de London (loi d'attraction en $1/R^6$ de Van der Waals), et à longue distance celui de la théorie de Casimir Polder (loi d'attraction en $1/R^7$). Les divers facteurs apparaissant dans la formule de Casimir-Polder ont été analysés en détail et interprétés physiquement. On a également examiné le cas de 2 atomes identiques dont l'un est excité, l'autre dans l'état fonda-

mental. On a montré qu'il existait un retard dans le transfert d'excitation d'un atome à l'autre, dû au temps de vol fini du photon qui est responsable de ce transfert d'énergie. On a établi que l'énergie d'interaction entre les 2

atomes variait en $1/R^3$ à courte distance, en $\frac{\cos kR}{R}$ à longue distance (où

k est le nombre d'onde associé à la transition reliant l'état excité à l'état fondamental de l'atome). La probabilité d'émission d'un photon réel par un tel système de 2 atomes dont l'un est excité, l'autre dans l'état fondamental, a été enfin calculée. On a montré que certains états du système étaient « super-radiants », d'autres « sub-radiants ». Le passage au régime de la diffusion multiple cohérente a été discuté. Un calcul simple du taux d'affinement maximal des raies de résonance magnétique de l'état excité a été présenté.

Par suite de tous ces développements, le problème de l'émission spontanée de rayonnement n'a pu être abordé cette année. Le cours de l'année prochaine sera consacré à une discussion approfondie de ce processus et à une comparaison des diverses approches théoriques permettant de l'étudier.

Mentionnons enfin que le cours de cette année et celui de l'année dernière ont été rédigés au fur et à mesure et distribués aux auditeurs sous forme de notes photocopées. Ces notes de cours seront prochainement disponibles sous forme de photocopiés.

SÉMINAIRES

Les séminaires ont été consacrés à la présentation et à la discussion d'un certain nombre de développements récents en Physique atomique et moléculaire. Il a semblé intéressant d'axer un certain nombre de séminaires sur le thème des effets liés aux fortes intensités lumineuses.

Treize séminaires ont été organisés :

G. MAINFRAY (Service de Physique Atomique, Centre d'Etudes Nucléaires, Saclay), *Ionisation multiphotonique des atomes au moyen de lasers* ;

A.L. SCHAWLOW (Stanford University, Stanford, California, U.S.A.), *New Advances in High Resolution Spectroscopy* ;

J. DUCUING (Laboratoire d'Optique Quantique, Ecole Polytechnique, Palaiseau), *Non linéarités optiques dans les molécules organiques conjuguées* ;

Y. GONTIER (Service de Physique Atomique, Centre d'Etudes Nucléaires, Saclay), *Quelques aspects théoriques de l'ionisation multiphotonique* ;

S. FENEUILLE (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), *Manifestations de l'effet Stark dynamique en spectroscopie optique* ;

C. ITZYKSON (Service de Physique théorique, Orme des Merisiers, Centre d'Etudes Nucléaires, Saclay), *Electrodynamique quantique dans les champs intenses* ;

S. SVANBERG (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède), *Investigation of Excited States in Alkali Atoms Using Tunable Dye Lasers* ;

S. HAROCHE (Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne, Ecole Normale Supérieure, Paris), *Etude par battements quantiques des états de Rydberg nD du sodium* ;

B. STOICHEFF (Université de Toronto, Toronto, Canada), *Light Scattering in Rare Gas Solids* ;

E. ZAVATTINI (Centre Européen de Recherches Nucléaires, Genève), *Measure du déplacement énergétique du niveau $n = 2$ de l'ion muonique $(\mu - {}^4\text{He})^+$ dû à la polarisation du vide du champ électromagnétique* ;

R. VETTER (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), *Transfert d'excitation et profils anormaux de certaines raies d'absorption du xénon au voisinage de l'inversion de population* ;

H. WALTHER (Université de Cologne, Cologne, R.F.A.), *Atomic Fluorescence Following a Monochromatic Excitation* ;

P. JACQUINOT (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), *Spectroscopie à haute résolution, en ligne, d'isotopes du sodium à vie brève*.

CONFÉRENCES

Dans le cadre de l'enseignement de Physique atomique et moléculaire, le Professeur Daniel KLEPPNER (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, U.S.A.) a été invité comme Professeur Associé au Collège de France, et a donné, au cours du mois d'avril 1975, 4 conférences sur les sujets suivants : *Magnetic Interactions in Alkali-Van der Waals Molecules* ; *Super-radiance in Small Systems* ; *Highly Excited Atoms* ; *The Proton Moment in Water in Terms of the Bohr Magneton*.

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

M. Claude COHEN-TANNOUJI 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 BROSEL, professeur à l'Université Paris VI.

Le personnel du laboratoire comporte 14 enseignants-chercheurs (professeurs, maîtres de conférences, maîtres-assistants, agrégés-préparateurs), 23 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^e cycle, 23 techniciens et administratifs.

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 1974 sont rapidement passés en revue dans le paragraphe suivant.

1) RÉSUMÉ DES TRAVAUX EN COURS

a) *Bombardement électronique longitudinal et transversal*

On observe les caractéristiques de la lumière émise par des atomes ou des molécules excités par bombardement électronique. L'étude des variations de ces caractéristiques en fonction d'un champ extérieur appliqué (magnétique ou électrique) fournit des informations, non seulement sur la structure des niveaux atomiques étudiés, mais également sur la dynamique des processus moléculaires (dissociation, prédissociation...) qui suivent l'excitation des molécules par bombardement électronique.

Un certain nombre de résultats obtenus au cours des années antérieures sur la dissociation de la molécule H_2 ont été contrôlés par d'autres méthodes d'étude. La largeur Doppler de la raie H_α émise par les atomes d'Hydrogène excités, provenant de la dissociation de H_2 , a été mesurée par spectroscopie à haute résolution et a confirmé les valeurs des vitesses d'explosion de la molécule H_2 obtenues auparavant. Une nouvelle méthode d'étude des niveaux prédissociatifs de H_2 a été entreprise. Au lieu d'utiliser le bombardement électronique qui n'est pas assez sélectif en énergie, on utilise le rayonnement synchrotron émis par l'anneau de collision d'Orsay (Laboratoire Lure), et on mesure à la fois le spectre d'absorption du rayonnement UV incident par les molécules H_2 , et la fluorescence de l'Hydrogène atomique. Les premiers résultats obtenus sont encourageants.

Par ailleurs, des nouvelles expériences de bombardement électronique des molécules sont entreprises sur le Deutérium, l'Azote.

(J.-P. Descoubes, M^m M. Glass, M^m L. Julien)

b) *Bombardement par des atomes neutres*

La technique utilise l'excitation d'atomes par un jet d'atomes neutres (ou d'ions rapides) qui ne sont pas (ou peu) déviés par un champ magnétique statique appliqué. Elle est très intéressante pour l'étude des croisements de niveaux apparaissant en champ magnétique très élevé (~ 10 kG). Le bombardement électronique serait très délicat à mettre en œuvre dans ce domaine de champs par suite de la courbure importante que présenteraient les trajectoires électroniques.

L'étude par cette méthode de la structure fine du niveau 2^3P de 4He a bien progressé. Un certain nombre de problèmes expérimentaux (mesure du champ magnétique au point de croisement par gaussmètre RMN, échantillonnage et stockage des données...) ont été ou sont en voie d'être résolus. L'intérêt de déterminer cette structure fine tient à la longue durée de vie du niveau 2^3P , qui permet d'obtenir des signaux de croisement très fins, et à la simplicité de l'atome d'Hélium, qui rend possible un calcul théorique de cette structure. Les mesures en cours au laboratoire permettent d'espérer une précision relative de 10^{-6} et, par suite, une très bonne détermination de la constante de structure fine α et de la partie orbitale du hamiltonien Zeeman.

Trois croisements de niveaux ont été également étudiés sur des configurations impaires du Néon. L'intérêt de mesurer ces structures tient au fait qu'elles sont sensibles à des termes d'interaction magnétique autres que le couplage spin-orbite.

(J.-P. Faroux, M^m 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

Divers niveaux excités ou fondamentaux d'atomes de gaz rares sont étudiés au moyen de méthodes optiques (croisement de niveaux, pompage optique...). L'excitation des atomes est obtenue par action conjuguée d'une décharge qui peuple des niveaux métastables et d'une source lumineuse de pompage, soit classique (lampe à décharge), soit laser (laser à colorant).

Une augmentation spectaculaire des temps de relaxation de noyaux de ${}^3\text{He}$ dans l'état fondamental 6^1S_0 de ${}^3\text{He}$ a été obtenue en recouvrant la paroi des cellules contenant l'Hélium d'un « enduit cryogénique », c'est-à-dire d'un enduit constitué d'un gaz rare solide (Ne, Ar, Kr, Xe), de H_2 ou D_2 solides, ou de CH_4 solide. Ainsi, à la température de 4°K, les noyaux de ${}^3\text{He}$ peuvent rebondir pendant 3 jours sur une paroi recouverte d'Hydrogène solide avant d'être désorientés, alors qu'une seule collision sur une paroi de pyrex nu suffit, à cette température, pour basculer le spin nucléaire.

Par ailleurs, l'utilisation d'un laser continu à colorant a permis d'étudier de nombreux croisements de niveaux sur des états excités 2p du Néon obtenus par excitation optique à partir de niveaux 1s métastables. La structure hyperfine de plusieurs niveaux 2p a pu ainsi être déterminée pour la première fois avec une précision relative meilleure que 10^{-2} . On a également exploré la possibilité d'utiliser la spectroscopie d'absorption à 2 photons sans effet Doppler qui semble bien adaptée à l'étude des déplacements isotopiques.

Des informations précises ont été obtenues expérimentalement sur les mécanismes de peuplement dans une décharge faible de divers niveaux excités triplets et singulets de He. Les proportions d'atomes excités dans la décharge par collisions électroniques soit à partir du niveau fondamental 6^1S_0 , soit à partir du métastable 2^3S_1 , ont pu être déterminées.

Enfin, des efforts sont poursuivis pour produire et détecter optiquement une orientation atomique dans les niveaux fondamentaux et métastables de Kr, Xe, Ne. Certaines de ces expériences utilisent un laser à colorant.

(J. Brossel, F. Laloë, M^{me} M. Leduc, R. Barbé,
M^{me} E. Giacobino, M. Pinard)

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

La section efficace de transfert par collisions d'un atome d'un sous-niveau Zeeman à l'autre doit décroître lorsque l'écart d'énergie entre ces 2 sous-niveaux est supérieur à h/τ_c où τ_c est le temps de collision (h : constante de Planck).

L'étude expérimentale de ce phénomène sur l'état excité 6^3P_1 du Mercure a progressé de manière satisfaisante. Plusieurs problèmes délicats ont été résolus. Les inhomogénéités du champ magnétique (80 kG) créé par les bobines supraconductrices au niveau de la cellule de résonance modifient de manière importante le phénomène de diffusion multiple cohérente et risquent de fausser les résultats ; ces inhomogénéités ont été réduites à un niveau suffisamment bas. De même, la présence de traces de gaz étranger résiduel dans la cellule de résonance provoque des transferts parasites entre sous-niveaux Zeeman ; une fabrication plus soignée de ces cellules a permis de rendre ce phénomène négligeable. Des courbes expérimentales reproductibles, montrant une variation importante de la section efficace de dépolarisation Holtsmark entre 0 et 80 kG ont été obtenues et sont en bon accord avec les prévisions théoriques.

Des études analogues sont en cours sur les alcalins.

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

e) *Violation de la parité induite par les courants neutres en Physique Atomique*

C. Bouchiat et M.-A. Bouchiat ont étudié en détail sur le plan théorique les conséquences qu'aurait en Physique Atomique l'existence des courants neutres. L'échange d'un boson vectoriel Z_0 entre l'électron et le noyau donne naissance à une interaction faible entre l'électron et le noyau qui ne conserve pas la parité, contrairement à l'interaction électromagnétique qui existe déjà entre ces 2 particules. Pour détecter cette interaction faible, sans qu'elle soit complètement masquée par l'interaction électromagnétique qui est considérablement plus efficace, on a intérêt à se placer dans des conditions où l'interaction électromagnétique est aussi inhibée que possible. D'où l'idée d'étudier des transitions dipolaires magnétiques doublement interdites, par exemple la transition $6S^{1/2}-7S^{1/2}$ du Césium, en essayant d'exciter cette transition avec une source lumineuse aussi intense que possible, par exemple un laser à colorant. La théorie prévoit que l'interférence entre l'amplitude dipolaire magnétique et l'amplitude dipolaire électrique induite par les courants neutres doit se traduire sur cette transition par un dichroïsme circulaire de l'ordre de 10^{-4} .

Un montage expérimental a été construit au laboratoire pour exciter la transition $6S^{1/2}-7S^{1/2}$ du Césium avec un laser à colorant. Dans une première étape, on applique un champ électrique extérieur sur les atomes, ce qui rend la transition partiellement dipolaire électrique, et on détecte la fluorescence

émise par les atomes sur la transition 7s-6p. L'étape ultérieure sera de faire tendre vers 0 le champ électrique extérieur pour voir s'il reste un effet dû aux interactions faibles.

Les résultats obtenus cette année avec un champ électrique variant de 20 000 à 20 volt/cm ont permis de tester le montage expérimental. Ils ont d'ores et déjà fourni une borne supérieure des effets dûs aux courants neutres beaucoup plus petite que celle déduite d'autres méthodes.

(M^{me} M.-A. Bouchiat, L. Pottier)

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

Les équations habituellement utilisées pour décrire le pompage optique sont valables que lorsque le temps de corrélation τ_c du champ électrique de l'onde lumineuse est court devant l'inverse $1/\omega$ de la fréquence ω caractéristique du couplage entre l'atome et l'onde (fréquence de nutation de Rabi). On obtient alors une équation pilote décrivant une suite aléatoire de processus à un photon, indépendants les uns des autres. On a entrepris sur le plan théorique l'étude du cas où l'intensité lumineuse est tellement grande que $1/\omega$ est court devant τ_c , τ_c étant cependant court devant la durée de vie radiative de l'atome, de sorte que la perturbation lumineuse n'apparaît pas comme monochromatique pour l'atome. Des résultats encourageants ont été obtenus sur la forme des courbes de croisement de niveaux et sur la répartition spectrale de la lumière de fluorescence réémise par les atomes.

Par ailleurs, on a abordé un nouveau problème, celui des modifications des propriétés physiques d'un électron libre lorsqu'on le fait interagir avec une onde électromagnétique intense. Il s'agit en fait d'obtenir le hamiltonien effectif décrivant la réponse à un champ extérieur appliqué (électrique ou magnétique) de l'électron « habillé » par les photons de l'onde incidente. Un certain nombre de résultats ont été obtenus : l'électron est alourdi par son mouvement de vibration dans l'onde incidente ; il explore les champs statiques appliqués dans un domaine correspondant à l'étendue de son mouvement de vibration ; si l'onde incidente est polarisée circulairement, il effectue un mouvement de rotation forcée qui lui confère un moment magnétique orbital supplémentaire ; son moment magnétique de spin est également modifié et devient anisotrope.

(C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, C. Fabre, P. Avan)

g) *Etude par battements quantiques des niveaux de Rydberg du Sodium*

Des atomes de Sodium sont préparés dans des états très excités nD par une excitation en échelons produite par 2 impulsions de 2 lasers à colorant pompés par le même laser à Azote. La première impulsion transfère la moitié des atomes du niveau fondamental $3s$ au niveau de résonance $3p$; la deuxième transfère immédiatement après les atomes du niveau $3p$ vers un niveau nD très excité qu'on choisit en balayant la fréquence de la 2^e impulsion. La lumière réémise à partir du niveau nD est modulée à une fréquence correspondant à la structure fine du niveau nD (battements quantiques). Les structures fines de 8 niveaux nD (n allant de 9 à 16) ont pu ainsi être déterminées pour la première fois.

L'effet Stark de certains de ces niveaux a pu également être étudié, ce qui a permis de mesurer leur polarisabilité, environ 10^7 fois plus grande que celle du niveau fondamental. Ces polarisabilités géantes sont caractéristiques des niveaux de Rydberg qui ont des orbites très grandes et sont très proches énergétiquement les uns des autres. L'étude du signe du déplacement Stark a montré également que la structure fine des niveaux nD était négative, ce qui prouve l'importance des effets de polarisation du cœur par l'électron de valence.

(S. Haroche, M. Gross, C. Fabre, M. Silvermann)

h) *Pompage optique des molécules*

Les techniques habituelles du pompage optique : croisement de niveaux, excitation en lumière modulée, ... sont appliquées à divers états moléculaires excités de I_2 , Se_2 . L'excitation optique utilise des lasers à Argon et Krypton ionisés et, plus récemment, des lasers à colorant.

Plusieurs informations ont été obtenues sur le niveau $B^3\pi_{ou}+$ de I_2 . On a mesuré des durées de vie par décroissance exponentielle et des coefficients de prédissociation par orientation. Pour plusieurs niveaux de vibration, la dépendance du coefficient de prédissociation par rapport au nombre quantique de rotation J a été étudiée. Par ailleurs, on a pu, sur 17 niveaux de vibration, établir la loi de variation de la probabilité de désexcitation radiative en fonction du nombre quantique de vibration v .

Des signaux d'effet Hanle ont été également obtenus sur la molécule Se_2 ainsi que des résonances en lumière modulée.

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

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

L'absorption résonnante par un atome de 2 photons se propageant en sens inverse donne naissance à une raie d'absorption dont la largeur est indépendante de la vitesse des atomes (les déplacements Doppler des 2 ondes lumineuses dans le référentiel au repos de l'atome sont opposés). La largeur de la raie est donc la largeur naturelle qui est près de 1 000 fois inférieure à la largeur Doppler dans le domaine optique.

Cet effet a été observé sur les transitions 3s-5s et 3s-4d du Sodium, la source lumineuse étant, soit un laser pompé par flash, soit un laser à colorant continu. La finesse des raies est suffisante pour résoudre optiquement l'effet Zeeman de la transition 3s-4d dans un champ magnétique inférieur à 100 gauss. Ces mesures ont permis d'améliorer considérablement notre connaissance de la constante de structure fine du niveau 4d.

Par ailleurs, l'observation de la raie à 2 photons sans effet Doppler sur la transition 3s-4d d'atomes de Sodium subissant en phase vapeur des collisions contre des atomes de Néon a permis de mettre en évidence le déplacement et l'élargissement de cette raie optique sous l'effet des collisions. Le fait de pouvoir exciter sélectivement l'un des 2 niveaux de structure fine du niveau 4d a permis enfin d'étudier le transfert entre ces 2 niveaux provoqué par des collisions.

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

J) *Etude des ondes de capillarité*

Un moyen très puissant d'étude des propriétés des interfaces (tension superficielle, viscoélasticité...) consiste à mesurer la répartition angulaire et spectrale de la lumière d'un faisceau laser diffusée en dehors de la direction de réflexion normale par la surface. Dans le cas d'un cristal liquide, des renseignements intéressants sur l'arrangement moléculaire à l'interface sont également obtenus en étudiant la polarisation et l'intensité de la lumière réfléchie et diffusée.

De nombreux résultats ont été obtenus sur les cristaux liquides nématiques : mise en évidence d'une anisotropie de la viscosité et mesure de plusieurs viscosités de cisaillement dans la phase nématique ; mesure de la tension interfaciale entre phase nématique et phase isotrope ; détermination de l'arrangement des molécules nématiques au voisinage de l'interface.

On essaie maintenant d'étendre la méthode aux liquides smectiques au voisinage de transitions de phase. Par ailleurs, des expériences préliminaires

sont tentées pour voir s'il est possible d'étudier, par la diffusion de surface, les propriétés viscoélastiques de solutions de polymères souples moyennement concentrées.

(M^{me} M.-A. Bouchiat, J. Meunier, M^{me} D. Langevin)

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

Le but de ces expériences est d'obtenir, par l'analyse spectrale de la lumière diffusée par un fluide, des informations sur les mouvements moléculaires au sein de ce fluide.

Des expériences de diffusion Brillouin ont été réalisées sur CH₄ et d'autres gaz simples dans des conditions où la diffusion est sensible à la relaxation rotationnelle de ces molécules. On a pu ainsi faire un test des équations cinétiques décrivant l'évolution du gaz (évolution qui, dans les conditions de l'expérience, ne correspond pas à un régime hydrodynamique).

Par ailleurs, une structure de la raie Rayleigh a été mise en évidence sur la lumière laser diffusée par SF₆. En plus d'une raie fine due aux fluctuations d'entropie, on observe une raie Mountain, 3 à 5 fois plus large, provenant de la diffusion des molécules vibrationnellement excitées.

Les expériences de diffusion de la lumière par la glycérine à basse température ont été poursuivies. Des progrès dans la description théorique de la relaxation structurale de la glycérine ont été réalisés.

(P. Lallemand, M^{me} N. Ostrowsky, M^{me} A.-M. Cazabat,
M^{me} C. Allain-Demoulin, P. Larour)

2) PUBLICATIONS DU LABORATOIRE EN 1974

A. KASTLER, *Une méthode simple pour produire des impulsions lumineuses très brèves de durée réglable dans le domaine des picosecondes* (C.R., 278 B, 1974, p. 159).

M. DUCLOY, *Nonlinear Effects in Optical Pumping of Atoms by a High-Intensity Multimode Gas Laser. II. Exact Theory for Small Angular Momenta* (Phys. Rev. A, 9, n° 3, March 1974, p. 1319-1342).

D. LANGEVIN, *Anisotropy of the Turbidity of a Nematic Liquid Crystal* (Solid State Comm., 14, 1974, p. 435).

C. DEMOULIN, C.J. MONTROSE and N. OSTROWSKY, *Structural Relaxation by Digital-Correlation Spectroscopy* (Phys. Rev. A, 9, n° 4, April 1974, p. 1740).

P. LALLEMAND, *Etude des mouvements moléculaires par diffusion de la lumière (Molecular Motions in Liquids, 1974, p. 517).*

D. LANGEVIN, *Light Scattering from the Free Surface of Water (J. of the Chem. Phys., Faraday Transactions I, 70, 1974, p. 95).*

C. DEMOULIN, C.J. MONTROSE et N. OSTROWSKY, *Etude des propriétés viscoélastiques d'un liquide par diffusion de la lumière (Molecular Motions in Liquids, 1974, p. 575).*

A. KASTLER, *Sur les forces mécaniques qu'un faisceau de lumière exerce sur une lame diélectrique qu'il traverse (C.R., 278 B, 1974, p. 1013).*

A. KASTLER, *Transmission d'une impulsion lumineuse par un interféromètre Fabry-Perot (Nouvelle Revue d'Optique, 5, n° 3, 1974, p. 133).*

A. KASTLER, *50 Jahre Hanle-Effekt (Physik. Blatter, 30, 1974, n° 9, p. 394).*

R. BARBÉ, M. LEDUC et F. LALOË, *Résonance magnétique en champ de radiofréquence inhomogène. 1^o partie : Etude théorique (J. de Phys., 35, 1974, p. 699).*

M. PINARD et M. LEDUC, *Etude par pompage optique de la résonance magnétique de l'ion $^3\text{He}^+$ dans l'état fondamental (J. de Phys., 35, 1974, p. 741).*

J. DUPONT-ROC and M. LEDUC, *Population and Orientation Mechanisms for Excited States in Helium Discharges (J. de Phys., Lettres, 35, 1974, p. L-175).*

J.-C. HERPIN et J. MEUNIER, *Etude spectrale de la lumière diffusée par les fluctuations thermiques de l'interface liquide vapeur de CO_2 près de son point critique. Mesure de la tension superficielle et de la viscosité (J. de Phys., 35, 1974, p. 847).*

R. BARBÉ, M. LEDUC et F. LALOË, *Magnetic Resonance with Inhomogeneous R.F. Fields (Lettere al Nuovo Cimento, 11, n° 9, 1974).*

F. BIRABEN, B. CAGNAC et G. GRYNBERG, *Effet Zeeman en champ magnétique sur une transition S-D du Sodium par absorption de deux photons sans élargissement Doppler (C.R., 279 B, 1974, p. 51).*

R. BARBÉ, M. LEDUC et F. LALOË, *Résonance magnétique en champ de radiofréquence inhomogène. 2^o partie : Vérifications expérimentales, mesure du coefficient de self-diffusion de ^3He (J. de Phys., 35, 1974, p. 935).*

M.A. BOUCHIAT and C. BOUCHIAT, *I. Parity Violation Induced by Weak Neutral Currents in Atomic Physics (J. de Phys., 35, 1974, p. 899).*

F. BIRABEN, B. CAGNAC and G. GRYNBERG, *Experimental Evidence of Two-Photon Transition without Doppler Broadening* (Phys. Rev. Lett., 32, n° 12, 1974, p. 643).

M. PINARD and J. VAN DER LINDE, *Disorientation of $^3\text{He } ^1\text{D}$ States in $^3\text{He}-^3\text{He}$ Collisions* (Canadian J. of Phys., 52, n° 17, 1974, p. 1615).

F. BIRABEN, B. CAGNAC and G. GRYNBERG, *Observation of the 3S-5S Two Photon Transition in Sodium Vapor without Doppler Broadening, using a CW Dye Laser* (Phys. Letters, 49 A, n° 1, 1974, p. 71).

A. KASTLER, *Le principe de Carnot qui a conduit les physiciens au concept d'entropie a 150 ans* (Entropie, 57, 1974).

M. DUCLOY, *Etude expérimentale de la réponse non linéaire d'atomes de néon soumis à une irradiation laser résonnante* (Ann. Phys., 1973-1974, p. 403-441).

M.A. BOUCHIAT and C.C. BOUCHIAT, *Weak Neutral Currents in Atomic Physics* (Phys. Letters, 48 B, n° 2, 1974, p. 111).

S. HAROCHE, M. GROSS and M.P. SILVERMANN, *Observation of Fine-Structure Quantum Beats following Sepwise Excitation in Sodium D States* (Phys. Rev. Lett., 33, n° 18, 1974, p. 1063).

E. GIACOBINO, *Determination of the Hyperfine Structure of the 2p Levels of ^{21}Ne using a CW Tunable Dye Laser* (J. de Phys., Lettres, 36, 1975, p. L-65).

A.M. CAZABAT, P. LALLEMAND and J. LAROUR, *Experimental Evidence of a Diffusionally Broadened Mountain Line of a Polyatomic Gas* (Optics Comm., 13, n° 2, 1975, p. 179).

F. BIRABEN, B. CAGNAC and G. GRYNBERG, *Paschen-Back Effect on the 3S-4D Two-Photon Transition in Sodium Vapor* (Phys. Letters, 48 A, n° 6, 1974, p. 469).

F. BIRABEN, B. CAGNAC et G. GRYNBERG, *Transfert entre les niveaux $4D_{5/2}$ et $4D_{3/2}$ de l'atome de sodium par collision contre des atomes de néon* (C.R., 280 B, 1974, p. 235).

F. BIRABEN, B. CAGNAC et G. GRYNBERG, *Déplacement et élargissement de la transition à deux photons 3S-4D dans l'atome de sodium par collision contre des atomes de néon* (J. de Phys., Lettres, 36, 1975, p. L-41).

A.M. CAZABAT et P. LALLEMAND, *Etude expérimentale de la diffusion Rayleigh-Brillouin dans le méthane* (J. de Phys., Lettres, 36, 1975, p. L-29).

P. AVAN and C. COHEN-TANNOUJJI, *Hanle-Effect for Monochromatic Excitation. Non Perturbative calculation for a $J = 0$ to $J = 1$ Transition* (J. de Phys., Lettres, 36, 1974, p. L-85).

A. KASTLER, *Radiofrequency Spectroscopy* (from *Atoms, Molecules and Lasers*, IAEA, Vienna, 1974, p. 175).

D. LANGEVIN et M.A. BOUCHIAT, *Anisotropy of the Turbidity of an Oriented Nematic Liquid Crystal* (*J. de Phys.*, Colloque C1, Suppl. au n° 3, 36, 1975, p. C1-197).

C. FABRE, M. GROSS et S. HAROCHE, *Determination by Quantum Beat Spectroscopy of Fine-Structure Intervals in a Series of Highly Excited Sodium D States* (*Optics Commun.*, 13, n° 4, 1975, p. 393).

G. GOUEDARD et J.C. LEHMANN, *Effet Hanle et résonance en lumière modulée de la molécule Se_2* (*C.R.*, paru en mai 1975).

M. BROYER, J.C. LEHMANN, J. VIGUÉ, *g Factors and Lifetimes in the B State of Molecular Iodine* (*J. de Phys.*, 36, 1975, p. 235).

J. VIGUÉ, M. BROYER, J.C. LEHMANN, *Quantum Interference Effect between the Magnetic and Natural Predissociation in the $B^3\pi_{ou}^+$ State of I_2* (*J. de Phys.*, B, 7, 1974, p. L-158).

F.W. DALBY, J. VIGNEAU, J.C. LEHMANN, *On Hanle Effect in the $B^3\Sigma_u^- - X^3\Sigma_g^-$ Band System of the Se_2 Molecule* (*Can. J. of Phys.*, 53, 1975, p. 140).

J.C. LEHMANN, *Molecular Optical Pumping* [*Comments on Atom. and Molec. Phys.*, 4, 1973 (paru en 1975), p. 129].

C. COHEN-TANNOUJJI, *Optical Pumping with Lasers* (in *Atomic Physics*, 4, Plenum Press, 1975, p. 589).

3) THÈSES

C. DEMOULIN-ALLAIN, *Etude par diffusion de la lumière de la relaxation structurale d'un liquide visqueux* (Thèse de 3° cycle, Paris, 1974).

C. FABRE, *Etude de quelques effets d'ordre supérieur dans l'interaction d'un atome avec un champ électromagnétique* (Thèse de 3° cycle, Paris, 1974).

L. JULIEN, *Etude, par la méthode des anticroisements, de la structure des niveaux $n = 3$ de l'hydrogène atomique produit par excitation dissociative d'hydrogène moléculaire* (Thèse de 3° cycle, Paris, 1974).

M.-C. HERPIN, *Etude par diffusion Raman des collisions gaz rares-molécules linéaires* (Thèse de 3° cycle, Paris, 1974).

J. VIGUÉ, *Etude de l'état $B^3\pi_{ou}^+$ de I_2 : facteurs de Landé, durées de vie, prédissociation* (Thèse de 3^e cycle, Paris, 1974).

F. BIRABEN, *Mise en évidence des processus d'absorption de deux photons sans élargissement Doppler sur la transition 3S-5S dans le Sodium* (Thèse de 3^e cycle, Paris, 1974).

P. MORA, *Contribution à l'étude des molécules alcalin-gaz rare à partir de la relaxation d'atomes alcalins* (Thèse de 3^e cycle, Paris, 1975).

G. MEUNIER, *Quelques aspects des collisions entre un atome excité et un atome du même élément dans l'état fondamental* (Thèse de 3^e cycle, Paris, 1974).

M. GROSS, *Détermination par battements quantiques des intervalles de structure fine dans une série de niveaux nD très excités du Sodium* (Thèse de 3^e cycle, Paris, 1975).

M. GLASS, *Etude, par la méthode des anticroisements, des niveaux $n = 3$ et 4 de l'atome d'hydrogène excité, formé par dissociation de la molécule H_2* (Thèse d'Etat, Paris, 1974).

D. LANGEVIN, *Etude optique de la surface libre de liquides nématiques, d'une interface nématique isotrope et de films monomoléculaires. Analyse de l'intensité réfléchie et du spectre de la lumière diffusée* (Thèse d'Etat, Paris, 1974).

ACTIVITÉS DIVERSES, CONGRÈS, CONFÉRENCES

Conférence invitée présentée à la « 4^e Conférence internationale de Physique atomique » (Heidelberg, juillet 1974) : *Optical Pumping with Lasers*.

Présidence de la session « Spectroscopie de haute résolution » à la conférence internationale *Perspectives in Spectroscopy*, en l'honneur du 70^e anniversaire du Professeur Herzberg (Mont-Tremblant, Québec, Canada, septembre 1974).

Conférence invitée présentée à la Conférence internationale sur les Processus multiphotoniques (Seillac, avril 1975) : *Multiphoton Processes in RF Range*.

Séminaires donnés sur divers développements récents en Physique Atomique et Moléculaire et visites de laboratoires : Orsay : avril 1974 ; Grenoble : avril 1974 ; Trois-Rivières (Canada) : septembre 1974 ; Québec (Canada) : septembre 1974 ; M.I.T., Harvard (Cambridge, U.S.A.) : septembre 1974 ; Besançon : novembre 1974 ; Strasbourg : avril 1975.