Magnétisme nucléaire

M. Anatole ABRAGAM, professeur

Le cours de cette année a consisté dans le développement d'un certain nombre de sujets à la lisière de la physique du solide et de la spectroscopie des radiofréquences d'une part, de la physique des hautes énergies d'autre part.

Les deux premières leçons ont été consacrées à ce que l'on pourrait appeler la « diracologie », constituant une extension des idées développées dans le cours de l'année dernière sur la généralisation relativiste du spin d'une particule en mouvement rapide.

Comme application de ce formalisme on a traité le problème du mouvement d'une particule douée d'un moment magnétique dans un champ électromagnétique lentement variable dans l'espace. On a montré que les parties normale et anormale du vecteur moment magnétique de la particule obéissaient à des équations de mouvement différentes. Ce problème a plusieurs applications pratiques intéressantes : la détermination du moment magnétique des hyperons Λ et Σ , la dépolarisation éventuelle d'un proton dans un accélérateur circulaire, enfin et surtout la mesure du moment anormal ($g - 2$) du muon.

On a exposé ensuite la théorie du neutrino à deux composantes qui permet de rendre compte de façon très directe de la polarisation partielle des électrons dans la désintégration du muon et de la polarisation totale du muon dans celle du méson π .

On a décrit l'expérience ingénieuse de Goldhaber, Grodzins et Sunyar permettant de mesurer l'hélicité du neutrino.

La polarisation totale du muon dans la désintégration du pion, et l'anisotropie de l'émission de l'électron dans la désintégration du muon permettent une étude très complète des propriétés du muonium qui a fait l'objet de plusieurs leçons. Le muonium qui est l'atome hydrogénoïde formé d'un muon positif et d'un électron négatif, est le système électromagnétique le plus simple après le positronium et certainement plus simple que l'atome d'hydrogène. Dans ce dernier le proton qui est une particule à interactions fortes a des propriétés électromagnétiques imparfaitement connues qui interdisent en particulier le calcul, dans le cadre de la seule théorie électromagnétique,

de la structure hyperfine de l'atome d'hydrogène. Au contraire le muonium n'ayant que des interactions faibles et électromagnétiques se prête beaucoup mieux à la confrontation des valeurs théorique et expérimentale de sa structure hyperfine. Dans un champ magnétique appliqué les quatre niveaux de spin du muonium ont, par suite de la polarisation initiale du muon, totale le long de sa direction d'émission, des populations différentes. Lorsqu'un champ de radiofréquence induit une transition résonante entre deux niveaux du muonium la polarisation du muon change et, par voie de conséquence, l'orientation des positrons émis. Le taux de comptage d'un compteur à positrons subit une variation brusque au moment du passage par la résonance. C'est le type de la détection déclenchée (trigger detection) par excellence.

Ces méthodes ont fourni à Vernon Hughes et à ses collaborateurs des mesures extrêmement précises de la structure hyperfine du muonium et du moment magnétique du muon. L'analyse de ces résultats montre que du point de vue des propriétés électromagnétiques et avec une précision considérable, le muon n'est pas autre chose qu'un électron lourd. Les mêmes méthodes ont même permis une étude de la relaxation du muonium c'est-à-dire de la variation des populations de ses niveaux causée par des collisions avec les atomes ou les molécules d'un gaz étranger.

La fin du cours a été consacrée à l'étude du système des mésons neutres K_0 - $\bar{K}_0$ et à la discussion d'une expérience hypothétique permettant la mesure résonante de la différence de masse $m(K_L) - m(K_S)$.

Le principe de cette expérience repose sur le caractère cohérent de la régénération vers l'avant de mésons à vie courte K_S à partir d'un faisceau de mésons à vie longue K_L . Cette amplitude qui, par suite de la conservation de la parité, ne dépend pas de l'orientation du spin nucléaire du matériau de la cible régénératrice lorsque ce spin est 1/2, peut en dépendre au contraire pour des spins égaux ou supérieurs à l'unité. Si la cible régénératrice est polarisée, il est possible au moyen d'un champ de radiofréquence de moduler cette polarisation et partant l'amplitude et le taux de régénération. Une discussion réaliste détaillée du problème montre que cette expérience est parfaitement faisable. Sa seule faiblesse est la largeur de la raie de résonance correspondant à la transition $K_L \rightarrow K_S$, comparable à la fréquence de résonance, qui interdit en tout état de cause une grande précision. Du point de vue des principes en tout cas cette proposition d'expérience est intéressante car elle permet de concevoir la possibilité d'induire au moyen d'un champ électromagnétique (!) des transitions entre deux niveaux d'un système dépourvu de charge électrique à tous les ordres.

TRAVAUX DE LABORATOIRE

M. Anatole ABRAGAM est directeur de la Physique au Commissariat à l'Energie atomique. Il dirige plus particulièrement l'activité scientifique d'un laboratoire d'études de la Résonance magnétique qui comprend une quinzaine d'agents du C.E.A., quatre physiciens français et trois physiciens étrangers qui préparent des thèses ou collaborent aux travaux de recherche. Les activités de ce laboratoire, qui ont donné lieu à plusieurs exposés lors de séminaires tenus le vendredi matin après le cours, peuvent être classées pour 1968 de la façon suivante :

a) *Polarisation dynamique des noyaux*

On a essayé, dans la recherche de nouveaux matériaux pour cibles polarisées, de trouver des substances plus riches en noyaux d'hydrogène que celles précédemment utilisées. L'hydrure de lithium et l'ammoniac ont été étudiés en détail.

Dans HLi monocristallin où une polarisation appréciable a été obtenue (20 %), les centres paramagnétiques sont des centres F créés par irradiation aux rayons γ ou aux électrons. Des études sont actuellement en cours pour augmenter la polarisation déjà obtenue dans cette substance en augmentant le champ magnétique, en abaissant la température, en employant enfin des échantillons de H Li contenant l'isotope Li 6 (MM. EZRATTY, GLÄTTLI).

Pour l'ammoniac solide les recherches ont surtout porté sur les moyens d'introduire dans cette substance des centres paramagnétiques. On envisage actuellement un dopage par des ions de terres rares (M. GLÄTTLI).

Par ailleurs, les études de polarisation dynamique dans les cristaux où le facteur gyromagnétique de l'électron est élevé se sont poursuivies. Des résultats ont été obtenus dans l'éthylsulfate de lanthane dopé à l'erbium, ils n'ont pas conduit à des polarisations importantes mais ont permis une étude des temps de relaxation nucléaire (M. FEY).

b) *Etudes sur l'hélium trois solide*

L'étude systématique de l'influence d'impuretés d'hélium 4 sur les interactions d'échange entre noyaux d'hélium 3 a été poursuivie dans les deux phases cristallines de ce solide (M. LANDESMAN).

c) *Etudes par résonance des corps supraconducteurs*

On a poursuivi en résonance nucléaire les recherches sur la structure des supraconducteurs de deuxième espèce. Les résultats précédemment obtenus pour le niobium ont été observés dans le vanadium ainsi que dans des alliages plomb-indium (M. DELRIEU).

Une étude de résonance électronique dans un corps supraconducteur est également en cours (M^m POITRENAUD).

d) *Etude de l'antiferromagnétisme nucléaire*

Dans une première étape, il est nécessaire d'obtenir une polarisation dynamique importante. On a réussi à polariser dynamiquement des noyaux de fluor 19 dans un cristal de fluorine à environ 50 %. Une augmentation de cette polarisation devrait être obtenue en abaissant la température dans un cryostat à hélium 3. Le phénomène recherché d'ordre nucléaire n'a pas encore été observé mais on a pu constater et mesurer des changements dans la forme du signal d'absorption dûs à l'importance de la polarisation des noyaux de fluor (MM. GOLDMAN, CHAPPELLIER, VU HOANG CHAU).

MISSIONS ET CONFÉRENCES

Participation au Cours international d'été sur la Physique du Solide — Gand (Belgique), août 1967.

Conférence internationale sur les Particules élémentaires — Heidelberg (Allemagne), septembre 1967.

Colloque international en hommage à la mémoire de Marie Sklodowska-Curie pour le centième anniversaire de sa naissance et Symposium sur les Perspectives de la Physique nucléaire — Varsovie (Pologne), octobre 1967.

Réception du diplôme de Docteur honoris causa à l'Université de Kent (Grande-Bretagne), octobre 1967.

Participation à la 5^e Conférence sur la Physique du Solide — Manchester (Grande-Bretagne), janvier 1968.

Participation à la Conférence sur les collisions de hadrons à haute énergie — Genève (Suisse), janvier 1968.

Colloque franco-soviétique sur les problèmes de superconductivité et superfluidité — Bakouriani (U.R.S.S.), février 1968.

Participation aux Journées franco-israéliennes de Physique — Jérusalem (Israël), avril 1968.

Participation à la Commission scientifique de l'Institut Solvay (Instituts internationaux de Physique et de Chimie) — Bruxelles (Belgique), mai 1968.

PUBLICATIONS

A. ABRAGAM, *Polarisation dynamique nucléaire (Comptes rendus du 14^e Colloque Ampère, Lubiana, 6-11 septembre 1966).*

— *Une expérience de Lamb Retherford avec les mésons K neutres* (Ouvrage jubilaire dédié par la Société française de Physique au professeur Kastler, à paraître).

PUBLICATIONS DES TRAVAILLEURS DU LABORATOIRE

M. CHAPPELLIER, VU HOANG CHAU, M. GOLDMAN, *Polarisation dynamique du fluor dans Ca F₂* (*Phys. Rev. Letters*, 26 A, p. 262, 1968).

M. GOLDMAN, M. CHAPPELLIER, VU HOANG CHAU, *Nuclear magnetic resonance single shot passage in solids* (*Phys. Rev.*, 168, p. 301, 1968).

C. LAMBERT, *Contribution à l'étude des solutions de sodium dans l'ammoniac liquide par résonance magnétique* (Thèse, Paris).

— *Dynamic Polarization in solutions of sodium in liquid ammonia* (*J. Chem. Phys.*, 48, p. 2389, 1968).

J.-M. WINTER, *Comportement d'un système de moments nucléaires dans un solide paramagnétique* (Ouvrage jubilaire dédié par la Société française de Physique au professeur Kastler, à paraître).

M. DELRIEU, *Observation de la structure de vortex par résonance magnétique nucléaire dans un supraconducteur de deuxième espèce* (Communication au Colloque de Bakouriani (URSS), à paraître).

A. LANDESMAN, *Etude de l'hélium trois solide par résonance magnétique nucléaire* (Communication au Colloque de Bakouriani, U.R.S.S., à paraître).

J. EZRATTY, V. LOUTCHIKOV, M. ODEHNAL, *Relaxation et polarisation des cristaux de La₂ Mg³ (NO₃)₁₂, 24 H₂O dopés au Dy³⁺* (*Journal de Physique*, à paraître).

SÉMINAIRES

Les principaux exposés du séminaire tenu à 11 heures, le vendredi, ont été :

M. BORGHINI, *Interactions électron-noyau et polarisation dynamique* ;

M. BLEANEY, *Etude de quelques problèmes de résonance magnétique* ;

M. GOLDMAN, *Balayage linéaire des raies de résonance magnétique nucléaire* ;

J. OWEN, *Interactions hyperfines transférées et déviations de spin dans les sels magnétiques* ;

G. LAMPEL, *Polarisation dynamique nucléaire provoquée par irradiation lumineuse* ;

P. BERGÉ, *Diffusion inélastique de la lumière* ;

R. ORBACH, *Résonance paramagnétique d'impuretés dans les métaux Mg, Er* ;

J. W. T. DABBS, *Fission de ^{235}U orienté* ;

A. LANDESMAN, *Diffusion de spin en présence d'interactions d'échange* ;

J. MEUNIER, *Etude des ondes de capillarité à la surface d'un liquide par diffusion de la lumière* ;

M^{me} H. LAUNOIS, *Augmentation locale d'échange dans quelques alliages « presque magnétiques »*.

DISTINCTIONS

Le professeur a été nommé Docteur honoris causa de l'Université de Kent à Canterbury (Grande-Bretagne).

SOCIÉTÉS SAVANTES

Le Professeur a été nommé Membre de la Commission scientifique de Physique des Instituts internationaux de Physique et de Chimie (Fondation Solvay).