

Physique atomique et moléculaire

M. Francis PERRIN, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

Le cours de 1970-1971 avait pour titre : *L'hypéron Λ et les hypernoyaux.*

L'hypéron Λ , le premier découvert (1947), celui dont la masse est la moins grande, est le seul qui forme avec des nucléons (neutrons et protons) des systèmes relativement stables appelés *hypernoyaux*. D'isospin nul, il forme un singulet de charge électrique nulle, seul singulet de l'octet fondamental des baryons ; sa masse est $1\,115,5 \text{ MeV}/c^2$ (celles du doublet des nucléons étant $938,3 \text{ MeV}/c^2$ pour le proton et $939,6 \text{ MeV}/c^2$ pour le neutron). Il se décompose par interaction faible, avec une vie moyenne $\tau_{\Lambda} = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ s}$, principalement en un nucléon et un pion

$$\Lambda \rightarrow p^+ + \pi^- + 38 \text{ MeV}, \quad 65 \% \quad (1)$$

$$\Lambda \rightarrow n + \pi^0 + 41 \text{ MeV}, \quad 35 \% \quad (2)$$

Des modes de désintégration semi-leptonique s'observent aussi en faible proportion

$$\Lambda \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}_e + 177 \text{ MeV}, \quad 0,09 \%$$

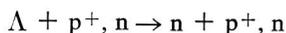
$$\Lambda \rightarrow p^+ + \mu^- + \tilde{\nu}_{\mu} + 72 \text{ MeV}, \quad 0,014 \%$$

C'est pour expliquer sa relative stabilité, et sa production toujours associée à celle d'un méson K^+ ou K^0 , qu'il a été nécessaire d'introduire un nouveau nombre quantique interne, *l'étrangeté*, conservé dans les interactions fortes ; l'étrangeté -1 a été par convention attribuée à l'hypéron Λ , le méson K^+ ayant alors l'étrangeté $+1$ et les nucléons, ainsi que les mésons π , l'étrangeté 0 . L'hypéron Λ a un spin $1/2$, comme tous les baryons de l'octet fondamental, auquel est associé un moment magnétique négatif, qu'on a pu

mesurer sans grande précision, $\mu_{\Lambda} = -0,7 \mu_b$ (μ_b étant le magnéton de Bohr nucléaire) du même ordre de grandeur que ceux des nucléons $\mu_p = 2,89 \mu_b$ et $\mu_n = -1,91 \mu_b$.

Les hypernoyaux ont été découverts en 1952 par M. Danysz et J. Pniewski, qui, ayant observé dans des émulsions nucléaires, exposées en haute altitude au rayonnement cosmique, une, puis deux « étoiles nucléaires » doubles, en ont donné l'interprétation correcte pleinement confirmée depuis : une étoile nucléaire double est formée par deux étoiles nucléaires voisines (distance de quelques microns à quelques dizaines de microns) reliées par une branche commune ; la première de ces étoiles résulte de l'impact sur un noyau atomique de l'émulsion d'une particule cosmique ionisante de haute énergie, l'autre marque l'explosion en fin de trajectoire d'un des fragments nucléaires issus de la première. L'analyse de la structure de cette deuxième étoile, qui peut comporter ou non l'émission d'un méson π chargé (π^- en général) de grande énergie, et l'évaluation de l'énergie totale des particules chargées qui en émanent, ne peuvent s'interpréter qu'en admettant que le fragment nucléaire qui explose contient un hypéron Λ associé, par interaction forte, à un noyau ordinaire formé de protons et de neutrons ; c'est à de tels systèmes qu'on a donné le nom *d'hypernoyau*.

L'explosion d'un hypernoyau après une durée en général supérieure à son temps de parcours dans l'émulsion photographique, qui est de l'ordre de 10^{-12} s, résulte de la désintégration du Λ , soit comme pour un Λ libre avec émission d'un π^- ou d'un π^0 , soit par une sorte de conversion interne résultant d'une interaction faible avec un nucléon



On désigne un hypernoyau par le symbole chimique du noyau dans lequel est fixé l'hypéron Λ (ce qui indique le nombre Z de protons contenus) en marquant le nombre total de baryons A en haut à gauche de ce symbole et en indiquant qu'il s'agit d'un hypernoyau par un indice Λ placé en bas, également à gauche : par exemple le symbole ${}_{\Lambda}^5\text{He}$ désigne un hypernoyau formé par la fixation d'un hypéron Λ dans un noyau ordinaire d'hélium 4. On distingue selon leur masse les hypernoyaux en légers ($A \leq 5$), semi-lourds ($5 < A \leq 16$) et lourds ($A > 16$) ; on a identifié de façon certaine quatre hypernoyaux légers (${}_{\Lambda}^3\text{H}$, ${}_{\Lambda}^4\text{H}$, ${}_{\Lambda}^4\text{He}$, ${}_{\Lambda}^5\text{He}$) et douze hypernoyaux semi-lourds (${}_{\Lambda}^6\text{He}$, ${}_{\Lambda}^7\text{He}$, ${}_{\Lambda}^7\text{Li}$, ${}_{\Lambda}^7\text{Be}$, ${}_{\Lambda}^8\text{Li}$, ${}_{\Lambda}^8\text{Be}$, ${}_{\Lambda}^9\text{Li}$, ${}_{\Lambda}^9\text{Be}$, ${}_{\Lambda}^{10}\text{B}$, ${}_{\Lambda}^{11}\text{B}$, ${}_{\Lambda}^{12}\text{B}$, ${}_{\Lambda}^{13}\text{C}$), mais l'identification des hypernoyaux lourds présente toujours une certaine ambiguïté de masse et de charge. Pour tout hypernoyau ${}_{\Lambda}^A\text{M}$ on désigne par $B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^A\text{M})$ l'énergie de liaison du Λ .

Aucun hypernoyau de masse 2 n'a jamais été observé, ce qui indique que l'hypéron Λ ne forme pas de système stable par association avec un seul nucléon (proton ou neutron), et le seul hypernoyau connu de masse 3, l'hypernoyau ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ formé par fixation d'un Λ par un deuton, bien qu'identifié de façon certaine, a une énergie de liaison du Λ très faible (on a pu seulement établir que $B_{\Lambda}({}^3_{\Lambda}\text{H})$ est inférieur à 0,2 MeV). Pour certains hypernoyaux, l'hypéron Λ stabilise en s'y associant un noyau instable vis-à-vis d'une décomposition en particules lourdes, donc inexistant en tant que noyau ordinaire : c'est le cas pour ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ (l'hélium-5 n'existe pas, même de façon éphémère) ou pour ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ (le noyau ${}^8\text{Be}$ explose aussitôt formé, par exemple par radioactivité β^- du ${}^8\text{Li}$, en 2 particules α).

Pour l'ensemble des hypernoyaux légers et semi-lourds, l'énergie de liaison B_{Λ} croît en fonction de la masse A approximativement suivant la loi linéaire

$$B = (1,185 A - 2,84) \text{ MeV}, \quad (3)$$

Il n'y a d'écart important par rapport à cette loi que pour l'hypernoyau ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ pour lequel $B_{\Lambda} = 6,6$ MeV (alors que la formule (3) donne 7,83 MeV). De plus cette loi implique l'indépendance de charge pour l'interaction entre nucléons et hyperons Λ , indépendance qui n'est pas rigoureuse, comme le prouve la différence certaine des énergies de liaison du Λ dans les deux hypernoyaux « image » ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ et ${}^4_{\Lambda}\text{He}$:

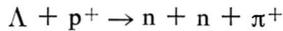
$$B_{\Lambda}({}^4_{\Lambda}\text{He}) - B_{\Lambda}({}^4_{\Lambda}\text{H}) = (0,25 \pm 0,07) \text{ MeV}$$

Dans le domaine des hypernoyaux lourds l'énergie de liaison B_{Λ} continue à augmenter avec la masse A , mais de moins en moins vite et paraît tendre vers une limite quand A devient très grand. Pour $A \sim 60$, on a pu évaluer que B_{Λ} atteint seulement 23 MeV.

Le spin, ou plutôt le moment angulaire total, de quelques hypernoyaux légers a pu être déterminé ; il résulte de la combinaison du spin 1/2 de l'hypéron Λ avec le moment angulaire total du noyau cœur auquel il est associé, car l'hypéron Λ est toujours fixé dans l'état fondamental $1s$ de moment angulaire orbital nul, aucun principe d'exclusion avec les nucléons ne l'empêchent d'occuper cet état. Dans les trois cas où le moment angulaire total de l'hypernoyau est connu, le noyau cœur ayant un moment angulaire non nul, le spin 1/2 du Λ se retranche toujours de ce moment angulaire du noyau cœur : l'hypernoyau ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, dont le cœur est un deuton de spin 1, a un spin 1/2, — l'hypernoyau ${}^4_{\Lambda}\text{H}$, dont le cœur est un triton de spin 1/2, a un spin nul, — l'hypernoyau ${}^8_{\Lambda}\text{Li}$, dont le cœur ${}^7\text{Li}$ a un moment angulaire

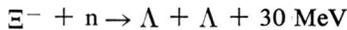
total $3/2$, a un spin 1. Ce fait ne peut résulter que d'une interaction Λ -nucléon plus forte quand les spins sont opposés (état singulet) que lorsqu'ils sont parallèles (état triplet).

Les désintégrations non mésiques des hypernoyaux, exceptionnelles pour ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, sont d'autant plus fréquentes que la masse de l'hypernoyau est plus élevée ; pour les hypernoyaux lourds ce sont les désintégrations mésiques qui sont l'exception. Les mésons chargés émis dans les désintégrations des hypernoyaux sont presque toujours des π^- (comme dans la désintégration d'un Λ libre), mais dans quelques pour cent des cas il y a émission d'un π^+ résultant sans doute d'une interaction faible entre l'hyperon Λ et un proton selon la réaction



L'observation d'une petite proportion de désintégrations en vol d'hypernoyaux, soit dans des chambres à bulles à hélium, soit même dans des émulsions nucléaires, a permis une évaluation de la vie moyenne de quelques hypernoyaux légers. Mais les valeurs obtenues sont très incertaines et rien ne peut être conclu de leur comparaison avec la vie moyenne de l'hyperon Λ libre.

Dans des émulsions photographiques irradiées par des mésons K^- de grande énergie, où apparaissaient de nombreuses étoiles nucléaires doubles indiquant la formation et la désintégration d'hypernoyaux simples, contenant un hyperon Λ , on a observé deux cas d'étoiles nucléaires triples, formé chacune par trois étoiles nucléaires en cascade, qui révèlent la formation, suivie de deux désintégrations successives, d'un *dihypernoyau* qui doit contenir deux hyperons Λ liés à un même noyau. La formation de ces dihypernoyaux résulte de l'interaction d'un hyperon Ξ^- , d'étrangeté -2 , avec un neutron d'un noyau atomique de l'émulsion



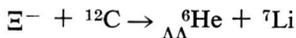
l'hyperon Ξ^- étant lui-même formé, en même temps qu'un méson K^0 d'étrangeté $+1$, lors d'une collision d'un méson K^- incident avec un neutron d'un autre noyau atomique de l'émulsion



Les deux dihypernoyaux observés (respectivement en 1963 et 1967) résultaient tous deux de l'interaction d'un Ξ^- avec un noyau de carbone respectivement suivant les réactions



et



Pour chacun de ces hypernoyaux on a pu déterminer, par l'analyse de la première désintégration, l'énergie de liaison du deuxième hypéron Λ , celle du premier pouvant être déduite de la deuxième désintégration mais étant bien connue par ailleurs

$$B_{\Lambda} ({}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be}) = (11,0 \pm 0,4) \text{ MeV} ; B_{\Lambda} ({}_{\Lambda}^9\text{Be}) = (6,63 \pm 0,04) \text{ MeV}$$

$$B_{\Lambda} ({}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}) = (7,8 \pm 0,5) \text{ MeV} ; B_{\Lambda} ({}_{\Lambda}^5\text{He}) = (3,08 \pm 0,02) \text{ MeV}$$

Dans chacun des deux cas, le noyau cœur ayant un spin 0, les deux hyperons Λ , tous deux fixés avec leurs spins opposés, dans l'état $1s$ fondamental, doivent avoir sensiblement avec le noyau cœur l'énergie de liaison d'un seul hypéron Λ . La différence entre l'énergie de liaison totale du deuxième hypéron Λ et celle du premier doit donc résulter de l'interaction entre les deux hyperons Λ et donner leur énergie mutuelle de liaison dans l'état singulet 1S .

On trouve ainsi

$$B(\Lambda\Lambda) = (4,4 \pm 0,5) \text{ MeV} \quad \text{dans } {}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be}$$

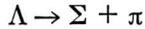
et

$$B(\Lambda\Lambda) = (4,7 \pm 0,5) \text{ MeV} \quad \text{dans } {}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$$

Ces deux valeurs positives voisines (et peut-être même égales) prouvent que les forces entre deux hyperons Λ sont fortement attractives au moins dans l'état singulet (spins opposés). On peut noter que le dihypernoyau ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$, constitué par 6 fermions lourds de 3 espèces différentes (p^+ , n , Λ) tous dans l'état $1s$, a une structure remarquable analogue à celle de la particule α , constituée par 4 fermions lourds de 2 espèces différentes (p^+ , n), et que, d'une façon générale, l'observation malheureusement très rare de dihypernoyaux est la seule source d'information que l'on aît sur l'interaction entre deux hyperons.

L'intérêt principal de l'étude des hypernoyaux et de la détermination des énergies de liaison B_{Λ} de l'hyperon Λ dans les divers hypernoyaux, réside dans la possibilité de déduire de ces énergies de liaison des indications quantitatives sur le potentiel qui doit permettre de décrire les interactions à basse énergie entre hypéron Λ et nucléons. Du point de vue quantique, ce potentiel, comme dans le cas de l'interaction entre nucléons, doit résulter, du moins aux distances les plus grandes d'interaction de l'échange de mésons π qui sont couplés par des interactions fortes avec tous les baryons. Mais les interactions fortes conservant l'étrangeté et l'isospin, dans le cas de l'interaction entre un hypéron Λ et un nucléon, il est nécessaire de faire intervenir le transfert de deux mésons π , et non d'un seul comme dans le cas de l'interaction entre deux nucléons : l'émission virtuelle d'un pion par un

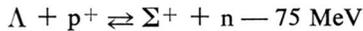
hypéron le transforme nécessairement, par suite de la conservation de l'isospin et de l'étrangeté, en un hypéron Σ



Le pion virtuel ainsi émis peut être absorbé par un nucléon



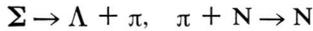
Mais l'état virtuel Σ , N ainsi atteint ne peut avoir qu'une durée extrêmement brève ($\sim 10^{-23}$ s) car il correspond à une énergie négative considérable



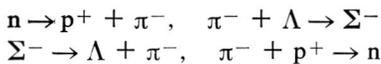
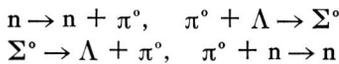
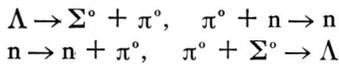
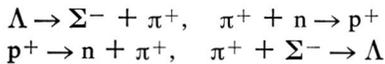
Le premier transfert d'un pion de l'hypéron Λ vers le nucléon doit donc être suivi presque immédiatement du transfert inverse d'un pion émis par le nucléon vers l'hypéron Σ qui redevient en l'absorbant l'hypéron Λ initial. Le double transfert de pion peut aussi commencer par l'émission par le nucléon d'un pion virtuel qui, absorbé par l'hypéron Λ , le transforme en un hypéron Σ .



ce premier transfert étant suivi du transfert inverse



Par exemple pour l'interaction entre un hypéron Λ et un neutron, on doit envisager quatre doubles transferts possibles



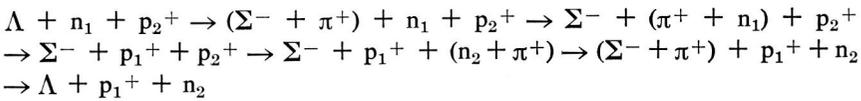
De même l'interaction entre un hypéron Λ et un proton résulte de quatre différents double-transferts de pions, avec comme état intermédiaire virtuel, soit (Σ^0 , p^+), soit (Σ^+ , n).

Comme on ne peut donc envisager de transferts de pions entre hypéron Λ et nucléon que par paire, le potentiel d'interaction correspondant doit être un

potentiel de Yukawa ayant une décroissance exponentielle, en fonction de la distance, deux fois plus rapide que dans le cas de l'interaction entre nucléons, qui résulte du transfert d'un seul pion : la distance caractéristique de décroissance doit être $\hbar/(2m_\pi c) = 0,7$ fermi pour l'interaction Λ, N au lieu de $\hbar/(m_\pi c) = 1,4$ fermi pour l'interaction N, N .

Il est possible que des transferts mésoniques autres que des transferts de pions contribuent à l'interaction forte entre hypéron Λ et nucléon. Par masse croissante on doit considérer le transfert d'un méson η , puis celui d'un méson ω , tous deux possibles isolément car ces deux mésons ont un isospin nul; pour le méson ρ , d'isospin 1, il faudrait envisager un double-transfert. Toutes ces possibilités conduisent à des potentiels de Yukawa à décroissance exponentielle beaucoup plus rapide que le double-transfert de pions ($2 m_\pi = 280$ MeV ; $m_\eta = 550$ MeV ; $m_\omega = 780$ MeV ; $2 m_\rho = 1\,520$ MeV). Elles ne peuvent donc modifier l'interaction qu'aux très petites distances, mais introduisent peut-être des forces répulsives, ce qui pourrait donner au total, entre hypéron Λ et nucléon, une interaction attractive avec un « cœur dur » répulsif.

Une conséquence qualitativement plus significative, de l'origine de l'interaction principale entre hypéron Λ et nucléons, est qu'il doit exister, avec une importance comparable au potentiel d'interaction à deux corps (Λ, N), un potentiel d'interaction à trois corps (Λ, N, N), le transfert du deuxième pion pouvant se faire entre l'hypéron et un nucléon N_2 autre que le nucléon N_1 avec lequel s'est fait le transfert du premier pion. Par exemple, si un neutron et un proton sont tous deux dans le voisinage d'un hypéron Λ , on doit pouvoir considérer, entre autre, la suite suivante d'émission et d'absorption de pions virtuels :



Le potentiel à trois corps résultant de tels processus, dépend des distances de l'hypéron Λ aux deux nucléons N_1 et N_2 , mais non de la distance entre ces deux nucléons.

Tenant compte seulement d'une façon qualitative des indications qui résultent de ces mécanismes quantiques possibles, on a cherché à établir une théorie phénoménologique des hypernoyaux, fondée sur l'hypothèse de potentiels d'interaction Λ, N d'expression mathématique simple et dépendant d'un petit nombre de paramètres devant être déterminés par comparaison des énergies de liaison de l'hypéron Λ dans les divers hypernoyaux, calculées à partir de ces potentiels, avec les valeurs expérimentales des B_Λ . En première approximation on a admis que l'indépendance de charge s'applique à l'inter-

action Λ, N comme à l'interaction N, N et l'on a négligé des forces non centrales possibles. Malheureusement l'inexistence des hypernoyaux à deux corps Λ, n ou Λ, p^+ , oblige dès l'abord aux calculs difficiles de l'énergie de liaison d'un système de trois corps ${}^3_{\Lambda}\text{H}$. En plus de ce premier cas, des calculs approchés complets n'ont pu être faits que pour les hypernoyaux légers, d'abord en négligeant la déformation du noyau-cœur qui résulte de la fixation de l'hypéron Λ , puis en traitant l'ensemble du problème à $n = A$ corps avec le potentiel d'interaction Λ, N à essayer et un potentiel d'interaction entre nucléons ayant donné des résultats satisfaisants pour les énergies de liaison des quatre noyaux ordinaires ${}^2\text{H}, {}^3\text{H}, {}^3\text{He}, {}^4\text{He}$ (dans lesquels tous les nucléons sont dans l'état $1s$). Dans ces calculs on a tenu compte de la dépendance de spin de l'interaction Λ, N en introduisant deux potentiels d'interaction, l'un pour l'état singulet (spins du Λ et du nucléon opposés), l'autre pour l'état triplet (spins du Λ et du nucléon parallèles).

Les potentiels d'interaction Λ, N qui ont donné les résultats les plus satisfaisants pour l'ensemble des énergies de liaison de l'hypéron Λ dans les hypernoyaux légers, sont des potentiels attractifs décroissant exponentiellement à l'extérieur d'un cœur dur répulsif de rayon 0,45 fermi voisin de celui du cœur dur de l'interaction N, N . Mais il est surprenant de constater que, contrairement aux prévisions, la décroissance exponentielle du potentiel Λ, N est très notablement plus lente que celle du potentiel N, N . Une difficulté plus sérieuse apparaît quand on cherche à interpréter à l'aide du même potentiel d'interaction les données, il est vrai assez incertaines, sur la dispersion élastique des hypérons Λ de quelques centaines de MeV par des protons libres, données qui résultent d'observations faites à l'aide de chambres à bulles à hydrogène liquide. Il ne sera sans doute possible de concilier ces mesures de sections efficaces de dispersion élastique des hypérons Λ libres par les protons, avec les valeurs expérimentales des énergies de liaison des hypérons Λ dans les hypernoyaux, qu'en introduisant un potentiel d'interaction à trois corps ($\Lambda, 2 N$), dont l'existence est prévue par les considérations quantiques et qui n'intervient évidemment que dans les hypernoyaux. Par ailleurs, il est de toute façon nécessaire pour rendre compte de la différence des énergies de liaison de l'hypéron Λ dans des noyaux images (notamment pour les deux hypernoyaux légers image ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ et ${}^4_{\Lambda}\text{He}$) d'introduire dans le potentiel (Λ, N) un terme rompant la symétrie de charge.

Pour les hypernoyaux semi-lourds, dont les cœurs comprennent des nucléons sur les couches $1p$ ou $2s$, les calculs complets, même avec les approximations faites pour les hypernoyaux légers, sont trop complexes pour être effectués. Pour les hypernoyaux lourds il semble que l'on puisse obtenir des résultats satisfaisants en considérant une interaction globale entre l'hypéron Λ et le noyau cœur, et en admettant que cette interaction globale correspond à un puits de potentiel de forme rectangulaire ayant un rayon

égal au rayon classique de ce noyau ($R = A^{1/3} R_0$ avec $R_0 = 1,235$ fermi) et la même profondeur E_0 pour tous les noyaux. La valeur expérimentale $B_\Lambda = 23$ MeV pour $A = 60$ conduit pour cette profondeur du puits de potentiel à la valeur $E_0 = 28,3$ MeV ce qui donne pour l'énergie de liaison d'un hypéron Λ dans un noyau très lourd, environ 26 MeV, valeur que l'on peut comparer à l'énergie de liaison d'environ 85 MeV d'un nucléon dans la couche la plus profonde des noyaux les plus lourds.

L'approximation d'une interaction globale de l'hypéron Λ avec le noyau, décrite par un puits de potentiel rectangulaire, appliquée aux hypernoyaux semi-lourds, ne donne les B_Λ observés qu'en introduisant une profondeur E_0 du puits d'autant moins grande que le nombre de masse A de l'hypernoyau est plus petit ($E_0 = 21,7$ MeV pour $A = 5$).

Le modèle de l'interaction (Λ , noyau) avec un puits de potentiel rectangulaire permet de calculer l'énergie de liaison d'un hypéron Λ sur le niveau $1p$, premier niveau d'excitation du système à deux corps (Λ , noyau). On trouve qu'un tel niveau n'existe que pour $A > 10$ et que sa hauteur au-dessus du niveau $1s$ serait supérieure à l'énergie d'arrachement d'un neutron ou d'un proton jusqu'à $A = 16$, ce qui amènerait en un temps extrêmement court la chute sur le niveau $1s$ d'un hypéron Λ fixé sur le niveau $1p$, l'énergie correspondante projetant un neutron hors du noyau. Pour l'hypernoyau ${}^{170}_\Lambda$ l'état excité correspondant à l'hypéron Λ fixé sur le niveau $1p$, pourrait durer un temps suffisant pour que la chute de l'hypéron Λ du niveau $1p$ sur le niveau fondamental $1s$, situé 10,6 MeV plus bas d'après le calcul, se produise avec émission d'un photon γ . Mais dans le cas de cet hypernoyau ${}^{170}_\Lambda$, il existe sans doute un autre état excité d'énergie voisine de 6 MeV, correspondant à la fixation sur le niveau $1s$ d'un hypéron Λ dans un noyau 160* excité dans l'état métastable d'énergie 6,06 MeV (vie moyenne 7.10^{-11} s, la chute vers l'état normal se faisant par conversion électronique). La fixation, sur le niveau $1p$, d'un hypéron Λ dans un noyau 160 , pourrait donc être suivie de l'émission d'un photon γ de 10,6 MeV par chute directe du Λ sur le niveau fondamental $1s$, ou de celle d'un photon γ de 4,5 MeV par chute du Λ sur le niveau $1s$ dans le noyau excité 160* . Ces valeurs ne sont d'ailleurs qu'indicatives, car l'énergie des niveaux $1s$ et surtout $1p$ doivent beaucoup dépendre, pour les hypernoyaux semi-lourds, de la forme du puits de potentiel et pas seulement de son rayon et de sa profondeur.

En fait, le seul cas bien établi de l'existence d'un hypernoyau excité est celui de l'hypernoyau semi-lourd ${}^7_\Lambda\text{He}$ pour lequel on a observé deux valeurs sûrement distinctes de l'énergie de liaison du Λ , la plus faible devant correspondre à un état excité ${}^7_\Lambda\text{He}^*$ de cet hypernoyau

$$B'_{\Lambda}({}^7\text{He}) = (5,4 \pm 0,2) \text{ MeV}$$

$$B''_{\Lambda}({}^7\text{He}) = (3,7 \pm 0,4) \text{ MeV}$$

L'état excité ${}^7\text{He}^*$ ainsi mis en évidence résulte sans doute de la fixation de l'hypéron Λ sur le niveau $1s$ dans un noyau excité ${}^6\text{He}^*$, connu par ailleurs bien qu'il soit instable vis-à-vis de l'émission de 2 neutrons, et dont l'énergie d'excitation est de 1,8 MeV, valeur voisine de la différence des énergies de liaison B'_{Λ} et B''_{Λ} . Il faut noter que le noyau ${}^6\text{He}^*$ est stabilisé vis-à-vis de la désintégration neutronique par la fixation de l'hypéron Λ .

La spectrométrie hypernucléaire, c'est-à-dire l'étude des états excités des hypernoyaux et des émissions γ associées, est la partie actuellement la plus vivante de la physique des hypernoyaux.

Tous les hypernoyaux observés jusqu'ici sont formés par un hypéron Λ et des nucléons. Un hypernoyau contenant un hypéron autre que l'hypéron Λ , ne pourrait pas en fait subsister pendant un temps notablement plus long que 10^{-22} s, et ne pourrait être observé que comme une résonance, car les hyperons Σ ou Ξ pourraient se transformer en hypéron Λ par interaction forte avec un neutron ou un proton du noyau dans lequel ils seraient fixés, selon l'une des réactions exoénergétiques suivantes, qui conservent l'étrangeté et l'isospin :

$$\Sigma^- + p^+ \rightarrow \Lambda + n + 81 \text{ MeV}$$

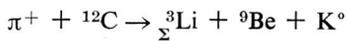
$$\Sigma^+ + n \rightarrow \Lambda + p^+ + 75 \text{ MeV}$$

$$\Sigma^0 + p^+, n \rightarrow \Lambda + p^+, n + 77 \text{ MeV}$$

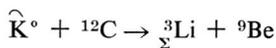
$$\Xi^- + p^+ \rightarrow \Lambda + \Lambda + 28 \text{ MeV}$$

$$\Xi^0 + n \rightarrow \Lambda + \Lambda + 24 \text{ MeV}$$

Mais de telles réactions n'existant pas entre Σ^- et n ou entre Σ^+ et p^+ , des hypernoyaux constitués par un hypéron Σ^- et un ou plusieurs neutrons, ou par un hypéron Σ^+ et un ou plusieurs protons, pourraient être stables. Les systèmes $\Sigma^- n$ et $\Sigma^+ p^+$ ayant sans doute des énergies de liaison négatives, comme les systèmes Λn et Λp^+ , n'existent probablement pas. Le système $\Sigma^- nn$ est peut-être stable, mais son observation serait très difficile. Le système $\Sigma^+ p^+ p^+$, c'est-à-dire l'hypernoyau ${}^3_{\Sigma}\text{Li}$, pourrait peut-être aussi exister malgré les répulsions coulombiennes qui diminuent l'énergie de liaison ; il pourrait par exemple être formé par la réaction



ou par la réaction



et son identification, par l'étude de son étoile de désintégration, devrait être aisée.

SÉMINAIRES

Le cours a été suivi des séminaires suivants, présidés par le professeur :

P. CÜER (Université de Strasbourg), *Les travaux de l'Institut de physique nucléaire de Strasbourg-Cronembourg sur les hypernoyaux* ;

A. BAMBERGER (Université de Heidelberg et C.E.R.N.), *Les états excités des hypernoyaux* ;

J. PNIEWSKI (Institut de Physique, Varsovie), *Hypernoyaux et spectrométrie nucléaire* ;

I. SOLOMON (Ecole Polytechnique), *Phénomènes dépendant du spin en physique des solides* ;

J.-L. NARJOUX (Laboratoire de Physique atomique et moléculaire, Collège de France), *Interactions K^+p à quasi corps autour de 2,5 GeV/c* ;

J. VRANA (Laboratoire de Physique atomique et moléculaire, Collège de France), *Les résonances baryoniques d'étrangeté — I entre 1 900 et 2 300 MeV* ;

L. MICHEL (Institut des Hautes Etudes scientifiques, Bures-sur-Yvette), *Tests de spin adaptés aux expériences* ;

G. DEFOIX (Laboratoire de Physique nucléaire, Collège de France), *Etudes des voies $\bar{p}p \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ et $\bar{p}p \rightarrow \omega \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ à 700 MeV/c et à 1 200 MeV/c*.

TRAVAUX DU LABORATOIRE

Au Laboratoire de Physique atomique et moléculaire travaillent une centaine de personnes, chercheurs, techniciens et administratifs, dont l'activité est centrée sur la physique nucléaire et sur la physique des particules.

Les divers groupes de recherches travaillent, soit en physique théorique, soit en physique expérimentale. Une assez importante activité technique est consacrée à la mise au point et à la fabrication des instruments nécessaires aux expériences.

PHYSIQUE THÉORIQUE

A) Groupe JOUVET

Les activités du groupe ont porté principalement sur les points suivants : particules composées en théorie des champs, diffusion pion-pion à basse énergie, interactions non polynomiales.

M. Ch. CHAHINE rédige sa thèse de doctorat sur la self-énergie électromagnétique d'une particule élémentaire ou composée. Il a montré sur un modèle résoluble qu'une particule composée a une self-énergie moins divergente qu'une particule élémentaire, et développé une méthode de calcul de la self-énergie à partir des relations de dispersion.

Poursuivant ses travaux sur les particules autocomposées, M. G. CLÉMENT a développé une méthode pour obtenir la singularité de la fonction à deux points, au voisinage du cône de lumière. Il en a déduit une nouvelle prédiction concernant l'allure asymptotique de la section efficace totale pour l'annihilation d'une paire $e^+ e^-$ en hadrons.

En collaboration avec A. MOREL et H. NAVELET, M. J.-C. LE GUILLOU (détaché au C.E.R.N.) a effectué une détermination de l'onde S de la diffusion pion-pion à basse énergie à partir de la donnée de l'onde P, en utilisant des inégalités et règles de sommes obtenues axiomatiquement.

Utilisant une formulation générale du groupe de renormalisation M^{m^0} IRAC-ASTAUD a déterminé les solutions perturbatives des équations qui en résultent.

M. J.-C. HOUARD et M^{m^0} IRAC-ASTAUD ont étudié les méthodes de sommation des séries divergentes qui ont été proposées pour le traitement des interactions non polynomiales. Les problèmes actuellement abordés concernent notamment les propriétés de convergence des différentes méthodes ainsi que leur équivalence éventuelle. Par ailleurs, M. B. ROEHNER (assistant à l'Université Paris VII) et M. J.-L. TEFFO se sont associés à M. J.-C. HOUARD afin de traiter certains problèmes concernant, d'une part, les propriétés des particules de masse nulle, d'autre part des modèles non linéaires en mécanique quantique.

B) Groupe de M. KESSLER

Ce groupe a continué à traiter des problèmes d'électrodynamique quantique à haute énergie.

— M. Gérard COCHARD a contribué à effectuer des calculs, notamment en liaison avec l'expérience de collaboration Collège de France-DESY (Hambourg), sur l'électroproduction de pions à l'énergie de la résonance N^* (1236).

— M. Claude-Michel KARATCHENTZEFF a complété ses calculs antérieurs sur l'électroproduction inverse ($\pi^- p \rightarrow e^- e^+ n$ ou $\mu^- \mu^+ n$) à l'énergie de la résonance N^* (1236).

— M. Napoléon ARTEAGA-ROMERO, M. Joseph PARISI, chercheurs extérieurs au Laboratoire, et M. Paul KESSLER ont effectué un grand nombre de calculs, en vue de fournir des prédictions pour de futures expériences, sur les collisions photon-photon dans les anneaux de stockage électron-positron. M. ARTEAGA-ROMERO termine une thèse de troisième cycle sur ce sujet.

— M. Edgardo CALVA-TELLEZ, chercheur extérieur au Laboratoire, termine un travail de thèse de troisième cycle sur les corrections radiatives dans diverses expériences de collision électron-positron.

— M. Christian CARIMALO, chercheur extérieur au Laboratoire, a commencé une thèse de troisième cycle sur les processus à échange d'un ou plusieurs photons aux énergies ultra-hautes.

C) Autres activités en Physique théorique

1) MM. M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE ont poursuivi leur travail sur les diffusions à plusieurs voies. Ils ont généralisé le théorème de factorisation des résidus et comparé différents modèles phénoménologiques de basse énergie. Ils examinent les indéterminations, principalement celles des constantes de couplage, résultant de l'impossibilité de constituer des cibles ou des faisceaux de particules instables. Les applications à différents cas physiques ($\bar{K}N$, N^* , π^- production) sont en cours.

2) MM. M. KELLER et A. MALAMANT ont poursuivi leurs travaux sur les treillis orthomodulaires et leurs représentations sur des semi-groupes involutifs Baers*. Ce travail s'effectue dans le cadre d'une thèse de Doctorat d'Etat.

PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE

I. — PHYSIQUE DES PARTICULES

1. — Sont en cours de nombreuses études à énergies moyennes, dans le domaine des interactions hadroniques et électromagnétiques, notamment :

A) Interactions π - nucléons

Les sections efficaces élastiques $\pi^- - p$ vers l'arrière ont été publiées. Vu la précision accrue des résultats, aucune des analyses en déphasage existantes ne paraît pleinement satisfaisante. Une nouvelle analyse incluant ces données est en cours.

L'analyse des mesures en $\pi^\pm p$ (vers l'avant et vers l'arrière) se poursuit (MM. J.-M. ABILLON, M. CROZON, J.-P. MENDIBURU, T. LERAY, J. TOCQUEVILLE).

M. CROZON a participé à l'étude de l'échange de charge $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$, sur cible polarisée à 5 et 8 GeV/c. Les résultats préliminaires de cette expérience pourraient, s'ils étaient confirmés, remettre en cause la plupart des modèles actuellement admis.

L'étude exhaustive des réactions à trois corps $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p \pi^0$ à moyenne énergie est achevée (M. Ph. CHAVANON).

B) *Annihilation $\bar{p} p$*

Les réactions $\bar{p} p \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp$ et $\bar{p} p \rightarrow K^\pm K^\mp$ ainsi que la diffusion élastique $\pi^- p \rightarrow p \pi^-$ (à 180°) à 4 GeV/c sont mesurées au C.E.R.N. par une collaboration Collège de France-Université de Padoue. Le dispositif expérimental utilise des chambres à étincelle magnétostrictives. Les mesures à 4 GeV/c sont presque terminées. Une mesure ultérieure à 3 GeV/c est prévue (MM. M. CROZON, A. DIAZECK, J. TOCQUEVILLE).

C) *Interaction $\pi \pi$*

Les sections efficaces $\pi \pi$ au voisinage du seuil seront déduites (par la méthode d'extrapolation de Chew et Low) des caractéristiques des réactions $\pi^\pm p \rightarrow \pi^+ \pi^\pm n$. L'implantation du dispositif expérimental (grand aimant d'analyse et spectromètre à chambres magnétostrictives en ligne sur un petit ordinateur) (voir la rubrique instrumentation) auprès du synchrotron à proton Saturne se poursuit (J.-M. ABILLON, Ph. CHAVANON, M. CROZON, J.-P. MENDIBURU, T. LERAY, J. TOCQUEVILLE, J. VALENTIN).

D) *Interactions $K^+ p$*

L'analyse de 70 000 événements pris entre 2,1 et 2,7 GeV/c dans la chambre à bulles britannique s'est poursuivie en collaboration avec l'Université de LONDRES (Imperial College). Les sections efficaces pour toutes les voies ont été déterminées (la publication en est imminente). Un article sur les réactions à trois corps vient d'être soumis à Nuclear Physics : le mécanisme de production d'un π est largement dominé par l'échange d'un méson vecteur (J.-M. BRUNET, J.-L. NARJOUX). L'analyse de la double production de résonances dans les interactions à quatre corps se poursuit (A. BORG, J.-L. NARJOUX).

E) *Interactions $K^- p$*

a) L'étude de l'interaction $K^- p$ entre 1,26 et 1,84 GeV/c se termine. Les sections efficaces des divers canaux ont été mesurées. L'analyse en ondes partielles des réactions élastiques et d'échange de charge est achevée. Celle des canaux $\Lambda \omega$ et $\Sigma_{1385} \pi$ se poursuit ainsi que diverses autres études sur la production de résonances dans les réactions à trois corps (MM. BERTHON, TRISTRAM, VRANA).

b) La suite de l'exploration précédente a été entreprise au C.E.R.N. dans la chambre à bulles de 2 m. (en collaboration avec le D.Ph.P.E. de Saclay). Environ 200 000 photos ont été prises entre 1,95 et 2,45 GeV/c. D'autres photos devraient être prises au cours de l'été jusqu'à 2,55 GeV/c. Les mesures de réactions efficaces ont commencé (un tiers des événements ont été traités) (MM. BACCARI, de BELLEFON, BRUNET, TRISTRAM, VRANA).

F) Interactions électromagnétiques

La collaboration d'une équipe du Laboratoire (MM. COURAU, DIAZECK, DUMAS, TRISTRAM, VALENTIN, AUBRET, CHAZELAS) et d'une équipe de DESY (Deutsch electronen synchroton) a poursuivi le dépouillement des mesures d'électroproduction d'un π^0 dans la zone de masse du Δ^+_{1236} . Les résultats pour un transfert de quadri-impulsion de 15 fm^{-2} ont paru dans Nuclear Physics (voir liste des publications). A 25 fm^{-2} ils vont être publiés.

2. — Une proposition d'expérience portant principalement sur l'étude des dissociations diffractives en $\pi^+ p$ à $50 \text{ GeV}/c$ dans la chambre à bulle Mirabelle à Serpukhov a été présentée conjointement par M. J.-L. NARJOUX et un groupe du Laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France.

II. — PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Le cycle d'expériences sur neutrons polarisés est achevé. Les mesures d'asymétrie sur ^2D , ^{12}C , ^{16}O permettent de tester différents modèles phénoménologiques.

L'étude des corrélations à deux nucléons dans la réaction $\text{D} (n, n + n + p)$ se poursuit.

M. de BILLY étudie la limite inférieure de détection de l'énergie de recul d'un noyau dans la diffusion n, D à petit angle par la méthode du recul scintillant.

Le groupe prépare, au sein d'une équipe associée au C.N.R.S., une expérience (p, p, α) à $1 \text{ GeV}/c$ auprès du synchroton à proton Saturne. Les études de détecteur sont en cours (MM. DELPIERRE, KAHANE, SAGET, SAIGNE, SENE, SOKOLSKI).

III. — PHYSIQUE ATOMIQUE

M^{me} M. SPITZER-ARONSON et M. P. SOLEILLET ont achevé les recherches entreprises sur la résonance optique de la vapeur de zinc excitée par la radiation de $2\,139 \text{ \AA}$. Le niveau $^1\text{P}_1$ a une durée de vie de 15.10^{-10} sec .

Ils étudient maintenant l'élargissement de la région fluorescente (niveau 3P_1) sous $3\,076 \text{ \AA}$ —.

IV. — INSTRUMENTATION

— M. J.-L. NARJOUX participe, avec un groupe du Laboratoire de Physique nucléaire, à la calibration et à la programmation de l'appareil « Coccinelle » (table de dépouillement et de mesure automatisée pour les clichés de grandes chambres à bulles).

— Une petite chambre à scintillation, destinée à l'étude des performances limites de ce genre de dispositif, est en cours de réalisation. Elle devrait fonctionner à 50 M H, identifier simultanément deux particules et avoir une résolution de 2 mm (MM. AUBRET, BENOIT, BRISSAUD, DUMAS, VIBERT).

— M. P. COURTY s'est occupé de la mise en ligne de l'expérience de chambres à étincelles sur un petit calculateur (CAE 90 10). Il a réalisé et monté un dispositif de visualisation pour cet appareillage. Il étudie des problèmes analogues pour un calculateur P D P 15.

— Un multiplexeur permettant l'accès de divers convertisseurs analogiques digitaux sur un enregistreur incrémental Kennedy a été réalisé par le groupe de physique nucléaire (MM. P. COURTY, A. SOKOLSKY).

— Des chambres à étincelles multi-traces et leur électronique d'acquisition de données sont en essai et commencent à fournir des résultats encourageants (MM. BRUERE-DAWSON, CAMBERLIN, GUY, TURLOT pour l'électronique), (MM. BONIERBALE, BRUERE-DAWSON, JOBEZ, JOURDAIN, MEURGEY, PATIOU, POUTOT, SOTIRAS, VEY pour la mécanique).

— Une étude de compteurs proportionnels et de l'électronique de décodage permettant l'acquisition des données par la 90.10 en ligne a été réalisée (MM. BRUERE-DAWSON et CAMBERLIN).

— M. MARQUESTE a mis au point un ensemble d'échelles de comptage rapide à grande capacité.

V. — GROUPE DE CALCUL

La calculatrice a fonctionné 16 heures par jour, ce qui a suffi à satisfaire les besoins locaux (Collège de France) des utilisateurs, tant du Laboratoire que de l'extérieur. Ces derniers s'inscrivent pour environ 30 % du temps d'utilisation.

Outre l'assistance programmation, les principales activités du groupe ont été :

— la mise en ligne d'un petit ordinateur CII 90-10 pour l'acquisition de données (I 1 B) ;

— la mise au point d'un ensemble de programmes pour l'expérience de chambres à étincelles (I 1 A) ;

— la table en service d'un programme de manipulation de gros fichiers comptables.

PUBLICATIONS

1. — W. ALBRECHT, F. W. BRASSE, H. DORNER, W. FLAUGER, K. H. FRANCK, J. GALYER, V. KORBEL, J. MAY, P. D. ZIMMERMANN (Deutsches Elektronen Synchrotron, Hamburg) ; A. COURAU, A. DIAZECK, J.-C. DUMAS, G. TRISTRAM, J. VALENTIN, C. AUBRET, E. CHAZELAS (Laboratoire de Physique atomique et moléculaire — C.d.F. — Paris) ; E. GANSSAUGUE (Physikalische Institut der Universität, Hamburg), — π^0 — *electroproduction at Δ (1236) and at a four momentum transfer of $15 f^{-2}$ (Nuclear Physics B 25-1, 1971, p. 1-9)* ; — C. R. XVth International Conference on High Energy Physics, Kiev, 1970 ; — Rapport Desy 70/36, août 1970 ; — C. R. Conférence de Physique des Hautes Energies, Aix, 1970.

2. — C. AUBRET, P. BENOIT, E. CHAZELAS, A. COURAU, A. DIAZECK, G. TRISTRAM, J. VALENTIN, *Spectromètre à grande acceptance* (Rapport P.A.M. 7 004, mai 1970).

3. — W. ALBRECHT et al. (Deutsches Elektronen Synchrotron, Hamburg), A. COURAU et al. (Laboratoire de Physique Atomique, Paris), E. GANSSAUGUE (Physikalische Institut der Universität, Hamburg), *Electroproduction of Δ (1236) in the π^0 channel at a fourmomentum transfer of $25 f^{-2}$* (Rapport Desy, 70/65, décembre 1970).

4. — J. M. ABILLON, A. BORG, M. CROZON, T. LERAY, J. P. MENDIBURU, J. TOCQUEVILLE, *Backward elastic scattering from 875 to 1580 MeV/c* (Physics Letters, volume 32 B, n° 8, 14 september 1970).

5. — M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE, *Polologie, factorisation et unitarité* (Rapport P.A.M. 70-07).

6. — M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE, *Modèles de Breit-Wigner et approximation en portée effective* (Rapport P.A.M. 70-08).

7. — M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE, *Approximation rationnelle et modèles phénoménologiques* (Rapport P.A.M. 70-09).

8. — M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE, *Modèles locaux pour les collisions* (Rapport P.A.M. 71-01).

9. — M. BENAYOUN et Ph. LERUSTE, *General theorems on factorisation* (In *Lettere al Nuov. Cim.*, IV, 1970, p. 1305).

10. — A. JACCARINI, N. ARTEAGA-ROMERO, J. PARISI et P. KESSLER, *$\gamma\gamma$ collisions with almost real photons* (Lettere al Nuovo Cimento, 4, 933, 1970).

11. — G. COCHARD et P. KESSLER, *A model for electroproduction and photo-production of pions near the N^* (1236) resonance* (*Lettere al Nuovo Cimento*, 4, 1191, 1970).

12. — B. ROEHNER et P. KESSLER, *A model based upon CVC and PCAC, for the neutrino-production of pions near the N^* (1236) resonance* (*Lettere al Nuovo Cimento*, 1, 45, 1971).

13. — M. KARATCHENTZEFF et P. KESSLER, *On a suggested inverse electroproduction experiment near the N^* (1236) resonance* (*Lettere al Nuovo Cimento*, 1, 96, 1971).

14. — N. ARTEAGA-ROMERO, A. JACCARINI, J. PARISI et P. KESSLER, *Photon-photon collisions, a new area of experimental investigation in high-energy physics* (*Phys. Rev.*, D. 3, 1569, 1971).

15. — J. PARISI, N. ARTEAGA-ROMERO, A. JACCARINI et P. KESSLER, *Experimental conditions for $\gamma\gamma$ collisions with almost real photons* (Rapport interne P.A.M. 71-02, à paraître dans *Lettre al Nuovo Cimento*).

16. — B. ROEHNER, G. COCHARD, M. KARATCHENTZEFF et P. KESSLER, *Neutrino-production of pions near the first resonance* (Rapport interne P.A.M. 71-03, à paraître dans *Nuclear Physics B*).

17. — J. PARISI, N. ARTEAGA-ROMERO, A. JACCARINI et P. KESSLER, *Experimental investigation of photon-photon collisions in electron-positron storage rings* (prétirage, soumis à *Phys. Rev. D*).

18. — G. CLEMENT, *Autocomposite fields and currents* (P.A.M. 70-05, à paraître dans *Il Nuovo Cimento*).

19. — M^{me} IRAC-ASTAUD, *About perturbative solutions of renormalization groups* (*N. C.* 3 A - 11, n° 2, p. 323).

20. — J.-C. LE GUILLOU (en collaboration avec A. MOREL et H. NAVELET), *Inambiguous $\pi\pi$ S waves from general principles and the existence of the ρ meson.* — *T H* 1260, C.E.R.N. (A paraître dans *Il Nuovo Cimento*).

21. — J.-C. HOUARD, *Théorie des groupes* (Rapport P.A.M. à paraître).

22. — A. BERTHON, L. K. RANGAN and J. VRANA et al. (Collège de France, Paris) (Saclay Rutheford Laboratory), *The reaction $K^- p \rightarrow \Lambda \pi^0$ in the c.m. energy range 1915 to 2168 MeV* (*Nuclear Physics*, B 20, 1970, 476-492).

23. — G. BURGUN, J. MEYER, E. PAULI, B. TALLINI, J. VRANA (Département de Physique des particules élémentaires, C.E.N. Saclay, France); A. de BELLEFON, A. BERTHON, K. L. RANGAN (Laboratoire de Physique atomique, Collège de France, France); BEANEY, S. M. DEEN, C. M. FISHER,

J. R. SMITH (Rutherford Laboratory Chilton, Great Britain), *Resonance formation in the reactions $K^- p \rightarrow K^+ \Xi^-$ and $K^- p \rightarrow K^0 \Xi^0$ in the mass region from 1915 to 2168 MeV* (*Nuclear Physics B* 8, 1968, 447-459).

25. — M^{me} M. SPITZER-ARONSON et Paul SOLEILLET, *Polarisation en fonction du champ magnétique de la lumière émise par résonance optique de la radiation 2139 Å du zinc* (*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 272, p. 520-523, série B).

26. — E. TIRAPEGUI, *Lower bounds and self-adjointness of Hamiltonians for a class of Models* (*Nuovo Cimento*, 3 A, 1971, p. 561).

CONGRÈS ET MISSIONS

M. Paul KESSLER a assisté à la conférence sur les anneaux de stockage électron-positron de Frascati (Italie) en septembre 1970 et à une Conférence sur la dualité et les symétries dans les interactions hadroniques à Tel-Aviv (Israël) en avril 1971.

MM. G. COCHARD et P. KESSLER se sont rendus à Durham (Grande-Bretagne) pour assister à la Conférence britannique sur les particules élémentaires, septembre 1970.

MM. G. COCHARD et J. VALENTIN ont assisté en avril 1971 à la Conférence britannique sur les particules élémentaires qui s'est tenue à Lancaster (Angleterre).

MM. CROZON, LERAY et KESSLER se sont rendus à Bologne (Italie) pour participer à la conférence sur les mésons vecteurs et les interactions électromagnétiques au mois de juin 1969.

MM. BENAYOUN, BERTHON, BORG, BRUNET, CARLES, CHAVANON, COURAU, CROZON, KESSLER, LERUSTE, MENDIBURU, MÉRIC DE BELLEFON, NARJOUX, PERRIN, SÉNÉ, TOCQUEVILLE, TRISTRAM, VALENTIN et VRANA ont participé à la Conférence sur la Physique des Hautes Energies qui s'est tenue à Aix-en-Provence du 29 septembre au 20 octobre 1970.

M. Th. LERAY s'est rendu à Kiev (U.R.S.S.) au mois d'août 1970 pour assister à la 15^e Conférence internationale sur la Physique des Hautes Energies.

M. J. LANCIEN a assisté à l'Ecole d'été de Corgèse (Corse) au mois de juillet 1970.

MM. J.-P. MENDIBURU et C.-M. KARATCHENTZEFF ont participé à l'Ecole d'été d'Herceg-Novı (Yougoslavie) au mois de septembre 1970.

M. M. BENAYOUN a assisté à l'Ecole d'été de Heidelberg au mois de juillet 1970 ; il a aussi participé au Colloque sur *Etudes théoriques des interactions fortes* à Montpellier (mai 1971).

M. P. DELPIERRE s'est rendu à l'Université de Madison (Wisconsin) pour assister au symposium international sur le phénomène de polarisation dans les réactions nucléaires et visiter différents laboratoires.

MM. CROZON, DIAZECK et TOCQUEVILLE ont été en mission au C.E.R.N. pendant l'année universitaire afin d'y participer à une expérience en collaboration avec un groupe de l'Université de Padoue.

M. B. JOUVET a été détaché pour une durée de neuf mois, au titre de la coopération, comme professeur à l'Université de Santiago (Chili).

De nombreuses missions ont été consacrées aux collaborations avec les laboratoires étrangers (C.E.R.N. à Genève), Rutherford High Energy Laboratory à Didcot (Grande-Bretagne), Imperial College (Londres).

Un séminaire a été organisé en collaboration avec l'équipe de M. G. RIDEAU (I.H.P.) constituée par : M. H. AMAR, M^{me} J. BERTRAND, M. GINNOCCHIO, M^{me} F. KOUTCHOUK. Ont également participé à ce séminaire : MM. J. LANCIEN (P.A.M.), Ph. LERUSTE (P.A.M.), K. HAYASHI (Université de Tokyo), S. WEINBERG (M.I.T.). Les exposés ont porté sur les sujets suivants : *C* algèbres, Formalisme fonctionnel, Particules à spin, lagrangiens non polynomiaux, Différences de masse électromagnétiques...*

THÈSES

M. R. SÉNÉ (juin 1971), doctorat d'Etat, *Contribution à l'étude de la structure du noyau ¹²C à l'aide de neutrons polarisés de 14.1 MeV.*

M. J.-M. BRUNET (juin 1971), doctorat 3^e cycle, *Etude des réactions $K^+ p \rightarrow K p \pi$ entre 2.1 et 2.7 GeV/c.*

DISTINCTIONS

M. Francis PERRIN a été élevé à la dignité de Grand' Croix de la Légion d'Honneur le 23 décembre 1970.