

Le groupe de physique théorique est reconnu internationalement depuis de très nombreuses années pour son expertise dans le problème à petit nombre de corps, tant en spectroscopie qu'en diffusion. L'activité développée dans ce domaine ne s'est pas démentie ces deux dernières années et les thèmes abordés sont très variés : physique atomique, physique nucléaire et, bien entendu, physique hadronique subatomique.

La venue dans le groupe en septembre 2003 de Michael Klasen, nommé professeur à l'UJF, permet d'élargir notre champ de compétence à de nouvelles perspectives : la QCD plus fondamentale et la supersymétrie.

Si les approches traditionnelles non relativistes sont encore utilisées pour un certain nombre de sujets, de plus en plus les aspects relativistes sont pris en compte de façon précise par des méthodes comme les équations de Bethe Salpeter, de Salpeter sans spin, les approches « point form » ou du « front de lumière ».

Les différents thèmes abordés récemment sont les suivants :

En physique atomique, un état très faiblement lié de l'ion H_2^+ a été prédit, dans un formalisme des équations de Faddeev où l'on calcule la longueur de diffusion proton-hydrogène, et confirmé théoriquement un peu plus tard par des méthodes variationnelles très précises. Dans ce domaine de particules chargées en interaction électromagnétique l'étude des systèmes borroméens est également très à la mode et conduit à des conclusions intéressantes, comme par exemple l'existence d'une molécule $M^+m^+M^-m^-$, pour des valeurs bien précises du rapport de masse M/m , alors que tous les sous-systèmes sont non liés.

En physique nucléaire traditionnelle les recherches se poursuivent de façon très active. Le système le plus simple, le deuton, recèle encore bien des attrait. Le moment anapolaire, conséquence de la non conservation de la parité, a été calculé dans un modèle d'échange de mésons π , ρ et ω . Dans un formalisme basé sur les équations de Faddeev-Yakubovski, la possibilité d'un état lié « tetra-neutron » a été examinée sérieusement et invalidée si l'on en croit les interactions réalistes d'aujourd'hui ; la recherche d'une résonance pour ce système est activement poursuivie. Les diffusions $n+t$, $p+t$, $p+^3He$, très importantes pour tester les potentiels nucléon-nucléon ont été étudiées en détail. La diffusion d'antiprotons et les observables de spin de la réaction $p+\bar{p}\rightarrow\Lambda+\bar{\Lambda}$, ont aussi fait l'objet d'une discussion approfondie. À l'interface de la physique nucléaire et de la physique des quarks, l'interaction kaon-nucléon décrite comme un système compliqué à 5 quarks a été abordée dans la méthode du groupe résonnant avec différents types d'interaction quark-quark. Son lien avec le pentaquark θ^+ qui aurait été observé récemment en fait un sujet très intéressant.

Des systèmes plus académiques ont servi aussi de tremplins pour des comparaisons très utiles de diverses approximations relativistes entre elles.

La physique hadronique des systèmes de quarks est une composante très importante de l'activité du groupe. La recherche de nouveaux potentiels quark-quark, basés sur des forces d'instanton, qui décrivent de façon unifiée les mésons et les baryons est très utile pour des calculs ultérieurs. La spectroscopie des mésons en est une application. Le groupe s'intéresse à tous les secteurs de saveur, depuis le pion jusqu'au charmonium. Les propriétés dynamiques des mésons ont été abondamment étudiées avec diverses approches. Le facteur de forme du pion peut être décrit de façon alternative, soit en appliquant un boost basé sur une approche « point form », soit dans un cadre plus traditionnel à condition d'introduire un facteur de forme électromagnétique au niveau des quarks constituants. Ce facteur de forme permet également de donner une très bonne description des désintégrations leptoniques concernant les mésons vecteurs ainsi que les différences de masse électromagnétiques des multiplets d'isospin dans les systèmes mésoniques et baryoniques. Les transitions radiatives dans les mésons sont des observables très sensibles à la fonction d'onde et permettent de discriminer les bonnes approximations et les bons potentiels.

À plus haute énergie, la production inclusive de mésons J/Ψ a été examinée grâce à des collisions polarisées hadron-hadron, photon-hadron ou photon-photon, dans un formalisme de factorisation non relativiste de la QCD. La supersymétrie (SUSY) est l'extension la plus économique du modèle standard. Si les particules supersymétriques existent, on pourra les découvrir au Tevatron ou au LHC ; leurs caractéristiques pourront être déterminées auprès d'un collisionneur linéaire. La production de paires de gluinos, basée sur le calcul de la section efficace, montre qu'elle est favorisée dans une réaction photon-photon par rapport à une réaction électron-positron.

L'étude du rotateur pulsé, dans un cadre semi-classique, permet de décrire convenablement les « catastrophes » bien connues, comme la fonce, la gloire ou le pli. Le scénario étudié s'applique à l'alignement des molécules par de courtes impulsions laser et à la lithographie atomique dans laquelle des atomes froids sont focalisés par une onde convenablement pulsée.

On ne saurait terminer ce tour d'horizon de l'activité des membres du groupe sans mentionner les aspects didactiques et de vulgarisation. Après la parution en 2002 d'un ouvrage de mécanique hamiltonienne, un recueil de problèmes résolus devrait paraître en 2004. La présentation de conférences d'intérêt général dans le grand public et dans certains lycées de la région est aussi un facteur de rayonnement de la physique qui se pratique au sein de notre laboratoire.

► Non conservation de la parité dans le deuton

B. Desplanques (LPSC), C.H. Hyun (Sungkyunkwan University, Suwon), C.-P. Liu (TRIUMF, Vancouver)

The contribution of heavy mesons to the deuteron anapole moment is considered. A more realistic description of a parity-non-conserving asymmetry in the deuteron photo disintegration is made.

La non conservation de la parité dans le deuton a suscité un grand intérêt récemment, en liaison avec de nouveaux projets d'expérience. Nous nous sommes intéressés en particulier au moment anapolaire du deuton et à sa photo-désintégration.

Le moment anapolaire du deuton est une propriété électromagnétique qui suppose une non-conservation de la parité. Au delà de la contribution de l'échange du pion considéré jusqu'ici, on s'attend à une contribution due à l'échange de mésons lourds, ρ et ω . Due au spin non nul de ces particules, l'expression de leur contribution est plus complexe que pour le pion. L'accent a été mis sur l'invariance de jauge, propriété essentielle pour obtenir une estimation correcte. Notre travail a été l'occasion d'une mise au point importante concernant cette propriété.

L'utilisation d'un modèle simple a remis en cause des résultats passés pour une asymétrie de parité dans la photo-désintégration du deuton. Ce travail a été repris en utilisant une description plus réaliste de l'interaction nucléon-nucléon (Argonne V18). Les résultats du modèle schématique sont confirmés pour l'essentiel. L'asymétrie de parité pour des photons de 3 à 10 MeV, là où domine la transition normale $E1$, se trouve fortement réduite. Sa mesure, récemment évoquée, pourrait être plus difficile que prévu.

► Facteurs de forme dans l'approche « point-form »

B. Desplanques (LPSC), A. Amghar (Université de Boumerdès), L. Theussl (Université de Valencia)

The estimate of the pion charge form factor in the "point-form" of relativistic quantum mechanics is revisited. Two-body currents appropriate to this approach are considered.

La première application de l'approche « point-form » de la mécanique quantique relativiste a concerné le facteur de forme de charge du pion. Le bon accord avec l'expérience a contribué à valider l'approche. Surpris du désaccord avec ce que nous obtenions dans

un cas malheureusement académique, nous avons reconsidéré l'estimation pour le pion en évitant deux approximations faites par les auteurs. Les résultats obtenus confirment ce que nous attendions. Il apparaît aussi que le rayon de charge a une valeur minimale déterminée par l'inverse de la masse du pion mais toujours supérieure à la valeur expérimentale. Jusqu'à récemment, ces résultats paraissaient spécifiques de l'approche « point-form ». Depuis, nous avons obtenu des résultats semblables dans les approches « instant-form » et « front-form », mais pour des cinématiques non standard.

Les désaccords mentionnés plus haut devraient s'expliquer par la contribution des courants à deux corps propres à l'approche considérée. Ceux-ci ont été dérivés pour des particules scalaires en demandant qu'ils permettent de reproduire l'amplitude de Born et, en même temps, qu'ils assurent la conservation du courant. Ces courants présentent des caractéristiques inhabituelles par rapport aux courants à deux corps dans d'autres approches. Nous avons trouvé qu'ils amélioreraient les résultats pour de faibles couplages. Des désaccords importants subsistent pour de forts couplages, requérant d'autres courants.

► Implémentation de l'approche « point-form » de Dirac

B. Desplanques (LPSC)

An implementation of the Dirac's point form of relativistic quantum mechanics is proposed.

L'approche « point-form » de Dirac suppose une physique décrite sur un hyperboloïde. Un examen de l'approche actuelle du même nom montre qu'elle implique en fait un hyperplan perpendiculaire à la vitesse du système étudié. Bien que différente, cette approche satisfait les propriétés attendues pour les opérateurs de l'algèbre de Poincaré (interaction dans le quadrimoment P^μ). Lorsqu'elle est appliquée au calcul de propriétés telles que le facteur de forme des systèmes considérés, elle mène à des résultats qui posent quelques problèmes. Pour un système composé de particules scalaires (état fondamental), la chute du facteur de forme à haut transfert de moment est beaucoup plus rapide qu'attendu, en $1/Q^8$ au lieu de $1/Q^4$. Par ailleurs, le rayon de charge varie comme l'inverse de la masse du système considéré et tend donc vers l'infini lorsque celle-ci tend vers 0. Motivé par ces observations, j'ai développé une approche s'inspirant de celle proposée par Dirac. Sa principale caractéristique est que le moment porté par les seuls constituants n'est pas fixe, comme dans d'autres approches. En dépit de cette différence essentielle, il apparaît possible de développer un formalisme cohérent.

Les premiers calculs de facteurs de forme effectués dans cette approche résolvent pour une part les problèmes que l'approche antérieure posait. Ainsi le comportement asymptotique pour des particules scalaires est maintenant en $1/Q^4$, en accord avec ce qui est attendu. Le problème du rayon de charge dans la limite de forts couplage (pour le pion en particulier) reste cependant entier.

► Interaction kaon-nucléon

S. Lemaire (CENBG), J. Labarsouque (CENBG), B. Silvestre-Brac (LPSC)

The phase shifts for kaon-nucleon scattering are calculated within the resonating group model. The clusters are composed of constituent quarks and the Pauli principle is taken into account. Several approaches are considered : relativistic kinematic, gluon and boson exchanges, instanton effect. It is impossible to describe in a unified scheme the two channels of isospin $I = 0$ and $I = 1$.

Nous avons calculé les déphasages de l'interaction kaon-nucléon en fonction de l'énergie. C'est un problème à 5 quarks difficile que nous avons traité dans le cadre de la méthode du groupe résonnant. Le principe de Pauli est pris en compte grâce à un symétriseur. Aucune approximation n'est faite, ce qui rend les calculs longs et complexes. Nous avons testé

plusieurs ingrédients : cinématique relativiste ou non. L'effet de la relativité est faible. Nous avons alors inclus dans le potentiel d'interaction entre les quarks, non seulement les termes de type Cornell assez courants, mais aussi des termes provenant d'échange d'une particule π et d'une particule σ . Les résultats donnent des ordres de grandeur raisonnables, mais sont encore déficients surtout dans les ondes de grand moment angulaire.

Pour essayer de remédier à ces inconvénients, nous avons introduit une force supplémentaire de type spin-orbite, qui permet de différencier les canaux de J différents possédant le même L et S . Malgré le grand degré de sophistication atteint dans ces calculs, les résultats ne sont pas à la hauteur, ce qui nous incite à croire qu'il manque un mécanisme fondamental à notre théorie.

Toujours pour remédier aux déficiences constatées, nous avons tenté une description de l'interaction K-N, avec une force interquark qui provient des effets d'instanton. Appliqué à l'interaction K-N, ce modèle donne un état lié dans les deux canaux d'isospin $I = 0$ et $I = 1$. Ce résultat nous a surpris à l'époque, mais depuis l'existence d'un pentaquark θ^+ semble se confirmer et il y a peut-être de la physique là dessous.

► Transitions radiatives dans les mesons

R. Bonnaz, B. Silvestre-Brac, C. Gignoux (LPSC)

Radiative transitions among mesonic resonances are calculated in a non relativistic quark model. Several approximations were tested, in particular the long wave length approximation. The results are in a good agreement with the data.

Nous avons calculé les largeurs de désintégration radiative des résonances. Nous avons utilisé un formalisme non-relativiste, mais nous avons été très soigneux dans notre théorie. En particulier nous avons étudié dans le détail les effets de diverses approximations qui ont cours habituellement : espace de phase non relativiste, approximation dipolaire, approximation des grandes longueurs d'onde. Nous avons montré sans ambiguïté qu'il est fondamental d'utiliser les expressions relativistes pour l'espace de phase et qu'il faut éviter l'approximation dipolaire. L'approximation des grandes longueurs d'onde est plus discutable : dans certains cas, elle donne de meilleurs résultats que la théorie exacte, dans d'autres cas non. En particulier elle donne une largeur nulle pour certaines transitions. De plus elle n'autorise pas d'effet d'interférence dans les transitions électriques $3P_J$ vers $3S_1$. Nous avons calculé la totalité des transitions connues expérimentalement avec les fonctions d'onde des mésons obtenues à l'aide de 3 potentiels interquarks différents. Les résultats sont toujours du bon ordre de grandeur, ce qui est satisfaisant pour un formalisme qui ne contient aucun paramètre libre.

► Désintégrations leptoniques des mesons vecteurs

R. Bonnaz, B. Silvestre-Brac (LPSC), L. Blanco, F. Fernandez, A. Valcarce (Université de Salamanca),

The decay of a vector meson into a lepton-antilepton pair is calculated. We take care of several effects that are usually neglected : momentum quark distribution inside mesons, relativistic effects and electromagnetic quark density for constituent quarks. The results are very promising.

Nous avons étudié la désintégration d'un méson neutre en une paire lepton-antilepton. Nous avons admis que le diagramme prépondérant est celui de l'échange d'un photon virtuel. Nous avons modifié la formule de Van Royen-Weisskopf, connue déjà depuis fort longtemps, en introduisant deux ingrédients supplémentaires :

- une distribution en impulsion pour les quarks ;
- nous avons pris en compte correctement le facteur cinématique relativiste qui apparaît dans la normalisation des spineurs ; celui-ci est l'énergie du quark dans le méson, alors que Van Royen a pris la masse au repos de celui-ci.

De plus nous avons supposé que les quarks dans le méson ne sont pas ponctuels, mais possèdent une densité de charge piquée sur leur position moyenne. Toutes ces modifications entraînent les conclusions suivantes : il y a une modification de la largeur des états 3S1 et les états 3D1 acquièrent une largeur non nulle, ce qui va dans le sens des données expérimentales. Nous avons fait l'étude systématique de toutes les transitions observées expérimentalement pour des fonctions d'onde des mésons obtenues avec deux potentiels très différents. Dans tous les cas, les modifications vont dans le sens d'une amélioration des résultats par rapport à l'expérience.

► Facteurs de forme électromagnétiques pour les quarks

B. Silvestre-Brac (LPSC)

An electromagnetic form factor is introduced at the quark level to simulate a constituent quark. We tried two different forms : monopole and dipole. Its effect is studied on charge form factors for isoscalar mesons and on the leptonic decays for vector mesons. The effect is very important and improves a lot the results as compared to experiment.

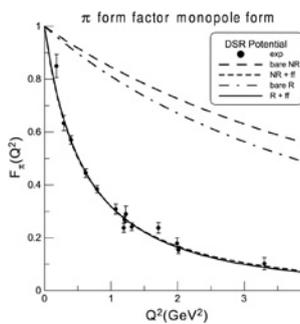


Figure 1

Dans les modèles de quarks constituants, les degrés de liberté sont des quarks habillés par les interactions fortes et électromagnétiques. Pour tenir compte de l'habillage électromagnétique, nous avons introduit un facteur de forme du quark au vertex quark-photon. Deux types de forme ont été analysés : le type dipolaire et le type monopolaire. Il apparaît deux paramètres libres par saveur : le cut-off qui coupe les grands transferts d'impulsion et le moment magnétique anomal lié au spin. Ce facteur de forme modifie à la fois le facteur de forme des mésons et les désintégrations leptoniques. Les facteurs de forme du pion et du kaon permettent la détermination des cut off ordinaire et étrange. Les moments anomaux sont déterminés par les désintégrations leptoniques. De plus, nous avons tenu compte d'effets relativistes au niveau de la normalisation des spineurs. Nous avons montré que l'on atteint une cohérence complète dans un cadre unifié. Les valeurs obtenues sont en accord très satisfaisant avec les données expérimentales.

► Splitting électromagnétique des mésons et des baryons

B. Silvestre-Brac (LPSC), C. Semay, F. Brau (Université de Mons-Hainaut)

We derive a quark-quark potential (BS2 potential) relying on instanton induced interaction. At the price of a small modification of the constant term for baryons, we were able to obtain a good description of both mesonic and baryonic resonances. This potential, as well with the better known AL1 potential, is tested on the electromagnetic splitting in mesons and baryons. The results are in reasonable agreement with the data.

Avec des forces d'instanton pour seule interaction dépendant du spin, nous pouvons obtenir un spectre tout à fait correct pour les mésons ou pour les baryons. Pourtant dans ce modèle, basé sur la QCD fondamentale, il subsistait un effet néfaste. Il était impossible avec un même jeu de paramètres d'obtenir un spectre cohérent pour les mésons et les baryons. Nous avons compris que l'on pouvait remédier à cette situation en modifiant un tout petit peu le potentiel d'instanton concernant les baryons. Il s'agit simplement d'introduire une constante supplémentaire avec la structure en spin isospin de l'instanton. Le potentiel obtenu, appelé BS2, donne à présent une description unifiée tout à fait satisfaisante des mésons et des baryons.

Nous avons étudié le splitting électromagnétique sur les multiplets d'isospin des fondamentaux des mésons. Nous avons introduit pour cela une masse pour le quark d légère-

ment supérieure à celle du quark u . Nous avons également introduit un potentiel d'origine électromagnétique contenant un terme de Coulomb, un terme de contact et un terme dipole-dipole. La nouveauté est que ces potentiels ont été habillés par une densité de quarks de type gaussien. Les paramètres de cette densité ont été déterminés sur les rayons carrés de charge du pion et du kaon. Deux potentiels forts ont été employés : un potentiel phénoménologique de type funnel (potentiel AL1) qui marche pour tous les secteurs, un potentiel plus fondamental basé sur les forces d'instanton (potentiel BS2) qui ne marche que dans le secteur des quarks légers. Ce modèle a été testé de façon unifiée à la fois pour les résonances mésoniques et les résonances baryoniques. Le seul paramètre libre dans cette étude est la différence de masse $m_d - m_u$. Compte tenu de ce point, les résultats obtenus sont encourageants, car ils résolvent un certain nombre de puzzles, mais n'arrivent pas encore à décrire la situation expérimentale sur les mésons et les baryons de manière unifiée.

► Catastrophes semi-classiques et optimisation de l'orientation d'un rotateur pulsé

I.Sh. Averbukh (Weizemann Inst. Rehovot), P. Rozmej (Université de Zielona Gora), R. Arvieu (LPSC)

We presented a detailed theory of spectacular semi-classical catastrophes happening during the time evolution of a kicked quantum rotor both in two and three dimensions. The catastrophes : cups, folds and rainbows are well described by the appropriate tools of the quasi-classical wave mechanics. A scenario of accumulated squeezing is also presented, that can be applied to atom lithography as well as molecular orientation.

Nous avons présenté une étude détaillée des catastrophes semi classiques qui se produisent au cours de l'évolution temporelle d'un rotateur pulsé à deux et à trois dimensions.

Ces catastrophes : la fronce, le pli, la gloire se produisent après la focalisation qui a lieu elle-même un certain temps après la production de l'impulsion. Un des intérêts du modèle est que les catastrophes sont susceptibles de se mouvoir au cours du temps sur le cercle ou sur la sphère. La description semi-classique repose sur les outils de la mécanique des ondes quasi-classique, c'est-à-dire à partir des approximations qui conduisent à des fonctions de Airy ou de Bessel ou des intégrales de Pearcey. Le scénario étudié s'applique à l'alignement des molécules par de courtes impulsions lasers et à la lithographie atomique dans laquelle des atomes froids sont focalisés par une onde convenablement pulsée.

► États liés de trois particules relativistes avec des interactions de portée nulle

J. Carbonell (LPSC), V.A. Karmanov (Institut Lebedev)

A relation between the mass M_3 of a relativistic three-body bound state and the mass M_2 of the two-body one is obtained for the zero-range interaction. It is found that the three-body system exists only when M_2 is greater than a critical value Mc . For $M_2 = Mc$ the mass M_3 vanishes and for $M_2 < Mc$ there is no solution with real value of M_3 .

Nous avons étudié les solutions des systèmes liés de trois particules relativistes avec des interactions de portée nulle. Le formalisme utilisé a été celui de la dynamique du front de lumière pour des systèmes de bosons et fermions et l'équation de Bethe-Salpeter dans le cas bosonique. Nous avons montré en particulier que si l'on impose une énergie de liaison à deux corps M_2 finie, le collapse de Thomas du système à trois particules disparaît. Des solutions à trois corps stables peuvent exister pour une gamme de valeurs de M_2 que nous avons déterminée.

► Systèmes liés à deux fermions dans le formalisme du Front de Lumière

J. Carbonell (LPSC), M. Mangin-Brinet (Université de Genève), V.A. Karmanov (Institut Lebedev)

The wave function equations and numerical solutions for two fermion bound systems are studied. Analytical expressions for the ladder one-boson exchange interaction have been obtained. Different couplings are analyzed separately and each of them is found to exhibit special features. The results are compared with the non relativistic solutions.

Nous avons obtenu les solutions pour les systèmes liés à deux fermions interagissant par les noyaux OBE dans le cadre du formalisme quantique relativiste dit « Dynamique sur le Front de Lumière » (Light –Front Dynamics). Au cours de ce travail, nous avons comparé les solutions « ladder » de la LFD à celles des limites non relativistes et proposé une solution au problème de la construction des états de moment angulaire non nul.

► Diffusion de particules relativistes

J. Carbonell (LPSC), D. Oropeza (LPSC), V.A. Karmanov (Institut Lebedev)

We have considered the relativistic scattering solutions of two scalar particles in Light Front Dynamics. Results for $J = 0, 1$ states below and above the inelastic threshold have been obtained as well as the corresponding self-energy corrections.

Notre effort dans l'étude des systèmes relativistes continue à présent par l'étude des états de diffusion. Il se fait aussi dans le cadre de la Light-Front Dynamics. Ce travail a nécessité le développement de méthodes appropriées pour le traitement des singularités de l'équation de Lipmann-Schwinger. En particulier celles qui apparaissent lorsque l'énergie disponible permet l'ouverture du seuil de création de particules $\phi\phi \rightarrow \phi\phi\chi$ où χ est le quantum d'interaction des champs scalaires ϕ .

Des résultats pour des particules scalaires ont été déjà obtenus. Ils concernent les états $J = 0, 1$ – aussi bien élastiques qu'au dessus du premier seuil inélastique – et incorporent les corrections de self-énergie.

► Un nouvel état de l'ion moléculaire H_2^+

J. Carbonell (LPSC), R. Lazauskas (LPSC), C. Gignoux (LPSC)

A new vibrational level of the molecular ion with binding energy of $1.1 \cdot 10^{-9}$ a.u. ~ 30 neV below the first dissociation limit is predicted. It is the first excited vibrational level $v = 1$ of the $2p\sigma_u$ electronic state, antisymmetric with respect to the exchange of the two protons, with orbital angular momentum $L = 0$. It manifests itself as a huge pH scattering length of $a = 750 \pm 5$ Bohr radii.

En étudiant la diffusion d'une particule lourde (comparée à l'électron) sur une cible d'hydrogène atomique (H), nous avons prédit l'existence d'un nouvel état lié du ion moléculaire H_2^+ ayant une énergie de liaison $B = 1,1 \times 10^{-9}$ u.a. Ce résultat a été confirmé par un calcul direct d'état lié [1].

L'existence d'un tel état si près du seuil de dissociation domine la diffusion p-H à basse énergie et se traduit par une longueur de diffusion énorme de 750 ± 5 u.a. Outre son caractère exotique, l'existence de cet état pourrait avoir un rôle clé pour expliquer l'abondance d'hydrogène moléculaire interstellaire, en accélérant le processus intermédiaire de formation $p+H \rightarrow H_2^+ + hv$.

▮ Étude de petits clusters de neutrons

J. Carbonell (LPSC), R. Lazauskas (LPSC), C. Gignoux (LPSC)

By solving the Faddeev-Yakubovskii equations in configuration space we have examined the possibility for a system of $N = 3, 4$ neutrons to form bound states. We have considered the kind of corrections that should be made to permit their existence by investigating : (i) the role of neutron-neutron P -waves in the clusters (ii) the minimal three- and four-body forces necessary to the binding. The study has been performed in parallel with a similar atomic physics system: the ^3He droplets. It has been recently shown that such a system is bound beyond $N = 35$.

Notre étude sur les petits clusters de neutrons a été motivée par l'annonce [1] d'une possible mise en évidence de systèmes liés à trois ou quatre neutrons. Les différentes pistes pouvant mener à une éventuelle liaison des systèmes $N = 3$ et 4 , compte tenu de notre connaissance actuelle des forces neutron-neutron et de leurs incertitudes, ont été examinées. Nous avons ainsi évalué (i) le changement direct, nécessaire à l'interaction $n - n$ dans l'onde $1S_0$ (la seule sous contrôle expérimental direct), (ii) l'intensité des forces à trois et quatre corps, et (iii) l'attraction dans l'onde P nécessaire pour obtenir des systèmes faiblement liés. Nous avons conclu à son impossibilité dans le cadre des modèles existants.

Concernant les systèmes plus grands, la situation est moins claire et ne peut pas être strictement infirmée par notre, relativement modeste, technologie actuelle. Des travaux utilisant des techniques shell-model sont en cours pour voir le comportement de systèmes avec $N = 6, 8, 10$. L'étude a été menée en parallèle avec un système de fermions qui présente des remarquables analogies avec les neutrons : les atomes d'Helium 3. On sait ce dernier système lié à partir de $N = 35$ atomes. Or, nous avons montré que dans le cas $N = 2$ la liaison des atomes d'Helium est nettement défavorisée par rapport à celle des neutrons et que ceci reste vrai pour $N = 3, 4$ si l'on « bosonise » le problème, i.e. si l'on ne tient pas compte du principe de Pauli, et qu'on laisse jouer tout leur rôle aux interactions.

Nous pensons avoir éclairci la différence qui existe entre ces deux systèmes de fermions et qui peut aboutir à la formation, dans un cas mais pas dans l'autre, de matière infinie liée. Cette différence se trouve en dernier ressort dans le rayon du cœur dur des interactions respectives. Il diffère par un facteur trois (dans des unités caractéristiques). De ce fait, la barrière centrifuge est un ordre de grandeur moins efficace dans la région où se trouve le puits attractif et les ondes P contribuent de manière importante à la liaison.

[1] F.M. Marquès et al., Phys. Rev. C65 (2002) 044006

▮ Calculs ab initio du système à quatre nucléons

J. Carbonell (LPSC), R. Lazauskas (LPSC), C. Gignoux (LPSC)

The Faddeev-Yakubovskii equations are solved in configuration space for low energy four-nucleon continuum states. Coulomb interaction was included into the formalism permitting an exact description of the scattering states in $p+^3\text{He}$ and $p+^3\text{H}$ systems.

Dans l'étude du système à quatre nucléons, nous avons abordé de façon unifiée les différents processus de diffusion possibles à basse énergie : $n+t$, $p+^3\text{He}$, $p-t$ [1,2,3].

Nous avons considéré tout d'abord le système $n+t$. C'est le cas le plus simple puisqu'il est soumis aux seules interactions fortes, mais un cas dynamiquement très riche car il présente la première résonance hadronique, située seulement à quelques MeV au-dessus du seuil. Malgré un nombre très supérieur d'ondes partielles incluses dans les calculs, il semble y avoir toujours un désaccord avec les données expérimentales aussi bien dans la région d'onde S qu'au voisinage du pic de résonance. Les modèles nucléaires actuels échouent pour décrire le continuum, alors qu'ils fournissent une description satisfaisante des états liés.

L'inclusion des forces coulombiennes dans les équations de Faddeev-Yakubovskii nous a permis d'obtenir les sections efficaces différentielles de la réaction $p+^3\text{He}$, le système « miroir » de $n+t$. Le modèle MT I-III donne une description très satisfaisante de l'ensem-

ble des observables malgré son extrême simplicité. Des résultats obtenus avec les potentiels réalistes, en incluant les forces à trois corps, sont aussi en accord avec les calculs du groupe de Pise.

Nous avons ensuite obtenu la première description théorique du complexe $p+t \rightarrow {}^4\text{He}^* \rightarrow n+{}^3\text{He}$. L'inclusion des forces coulombiennes a permis pour la première fois de placer la première excitation de ${}^4\text{He}$ dans le continuum, entre les seuils $p-{}^3\text{H}$ et $n-{}^3\text{He}$. Nous avons montré que dans ce système, le potentiel MT I-III, qui était jusqu'à présent le plus performant pour la description des petits noyaux, donne des résultats en désaccord avec l'expérience, en particulier une longueur de diffusion excessivement grande.

La première prédiction pour la longueur de diffusion $p+t$ avec des potentiels réalistes a été obtenue ainsi qu'une description satisfaisante de la fonction d'excitation σ ($\theta = 120^\circ$, E) mesurée expérimentalement.

► Diffusion des antiprotons

E. Klempt (Université de Bonn), F. Bradamante, A. Martin, (Trieste), J.-M. Richard (LPSC)

A review is presented of low-energy antiprotons scattering and antiprotonic atoms.

Un article de revue présente les résultats obtenus à l'anneau LEAR du CERN et ailleurs sur la diffusion des antinucléons à basse énergie et les propriétés des atomes antiprotoniques. Les données sont également analysées à la lueur des modèles théoriques et de leurs prolongements phénoménologiques. Le point est fait sur le baryonium, hypothétique état lié ou résonnant d'un nucléon et d'un antinucléon, parfois décrit comme un système de deux quarks et deux antiquarks. Cet article se prolongera par une revue sur les mécanismes d'annihilation et une autre sur la physique des mésons produits dans l'annihilation.

► Molécules borroméennes

J.-M. Richard (LPSC)

It is shown that for specific values of mass ratios, four-charge molecules (+,+,-,-) can be stable while none of its three-body subsystems are stable. These states are thus Borromean.

Il a été montré que des systèmes (M^+ , m^+ , M^- , m^-) avec un rapport M/m égal à 2, et les systèmes avoisinants, sont borroméens, dans le sens qu'ils sont stables vis-à-vis de toute dissociation, mais que tous les sous-systèmes à trois corps sont instables. Autrement dit, on ne peut pas construire ces molécules en ajoutant les constituants un par un, avec une succession d'états stables. La stabilité des systèmes à petit nombre de charges, étudiée en fonction des rapports de masse et du nombre de dimension, est l'objet d'un article de revue, actuellement en cours de rédaction.

► Constraints on spin observables in $\bar{p}+p \rightarrow \bar{\Lambda}+\Lambda$

J.-M. Richard (LPSC), X. Artru (IPNL)

Inequalities are derived, restricting the allowed domain for pairs or triples of spin observables, with application to hyperon-pair formation, inclusive reactions and polarised structure functions.

Dans un travail antérieur, nous avons établi des limites sur le domaine permis pour des paires d'observables, chacune variant typiquement entre -1 et +1, mais la paire étant souvent restreinte à un sous-ensemble du carré $(-1, +1)^2$.

La nouvelle étude, présentée en 2003 à la conférence sur les antiprotons et à la conférence sur le spin, donne une méthode de dérivation plus élégante, et étend l'étude aux triplets d'observables.

Les applications sont d'abord concentrées sur la réaction $\bar{p}+p\rightarrow\bar{\Lambda}+\Lambda$, pour laquelle de nombreuses observables sont connues. Le formalisme s'applique aussi aux réactions inclusives et aux fonctions de structure polarisées.

► États singlets du charmonium

A. Martin (CERN), J.-M. Richard (LPSC)

It is reminded how delicate is the search for singlet states of charmonium, and how important is the effect of coupling to real or virtual decay channels.

À l'occasion d'une note dans le courrier du CERN, il est rappelé combien la recherche des états singlets du charmonium a été difficile et pleine de rebondissements. Le rôle du couplage aux voies de désintégration est souligné, qui peut influencer les écarts de masse hyperfins pour les multiplets proches du seuil dominant.

► Production par paires des gluinos auprès des collisionneurs linéaires

S. Berge (Southern Methodist University), M. Klasen (LPSC)

At future linear colliders, gluino pairs can be produced at the one-loop level either in electron-positron or, via laser backscattering, in photon-photon collisions. While the production cross section remains small in the first case, due to large annihilation effects, it is very well visible for photons over large regions of the MSSM parameter space. The steep rise of the cross section allows for a precise gluino mass determination.

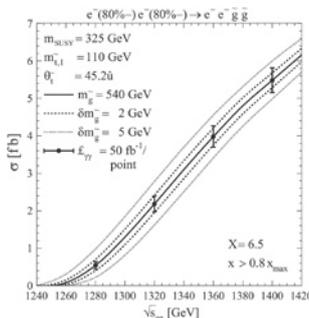


Figure 2

La supersymétrie (SUSY) à basse énergie est l'extension la plus économique du modèle standard : elle peut résoudre le problème de hiérarchie entre la masse du boson de Higgs et l'échelle de Planck, peut briser la symétrie électro-faible et peut expliquer l'unification des couplages de jauge. Les mécanismes mous de brisure de supersymétrie contraignent les partenaires supersymétriques à être plus légers que quelques TeV.

Si les particules supersymétriques existent, on pourra les découvrir au Tevatron ou au LHC ; leurs masses, phases complexes et couplages pourront être déterminés auprès d'un collisionneur linéaire. Cela sera difficile pour le spin, la masse et le couplage du gluino, car il ne se couple directement qu'aux quarks et gluons. Il n'est ainsi produit par paires qu'au niveau des boucles de quarks et de squarks qui s'annulent largement.

La production de paires de gluinos a une section efficace supérieure dans une collision photon-photon à ce qu'elle est dans une collision électron-positron. En outre, comme les gluinos forment une onde de type S, la section efficace augmente beaucoup plus rapidement. Ainsi, les collisions photon-photon présentent la seule chance d'observer des gluinos lourds aux collisionneurs linéaires et de déterminer leur masse avec une précision de quelques GeV en explorant le seuil de leur production.

► Production du meson J/ψ avec des faisceaux polarisés

M. Klasen (LPSC), B.A. Kniehl, L.N. Mihaila, M. Steinhauser (Université de Hambourg)

We demonstrate that the inclusive production of prompt J/ψ mesons in polarized hadron-hadron, photon-hadron, and photon-photon collisions at RHIC-Spin, SLAC Experiment E161, and TESLA can constrain the spin-dependent parton structure of the polarized proton and photon despite the hadronization uncertainties that persist within the NRQCD factorisation formalism.

L'hadronisation et les aspects non-perturbatifs de QCD ne sont toujours pas compris. Les systèmes les plus simples pour étudier ces aspects sont les états liés des quarks et anti-quarks lourds (quarkonia). La théorie effective de la QCD non relativiste (NRQCD) permet de factoriser leur production dans des contributions perturbatives et non perturbatives, et elle permet d'expliquer leurs sections efficaces mesurées au Tevatron.

Au collisionneur RHIC et à l'expérience sur cible fixe E161 du SLAC, on va mesurer les asymétries de la production du meson J/ψ pour déterminer les densités polarisées dans les protons et photons. En calculant la production des quarkonia dans les collisions polarisées proton-proton, photon-proton et photon-photon, on a démontré que ces déterminations seront possibles malgré l'incertitude sur les valeurs moyennes des opérateurs non perturbatifs.

▮ Colloques

J.-M. Richard (LPSC)

The Workshops on "Critical Stability" have been organized in collaboration with colleagues of Aarhus and Toulon-Marseille, and the proceedings are published as special issues of "Few-Body Systems".

En 2002, j'ai publié avec l'aide de J. Carbonell, les actes du Deuxième Colloque "Dynamics and Structure of Critically Stable Quantum Few-Body Systems", qui s'est tenu fin 2001 au Centre de Physique des Houches. La référence est Few-Body Systems, Vol. 31, Numéros 2-4 (2002).

En 2003, j'ai organisé la troisième édition de ce colloque, au centre ECT*, à Trento, avec l'aide de J. Carbonell pour le programme. Je viens de rassembler et de revoir les contributions, et les actes devraient paraître prochainement, également comme un numéro spécial de Few-Body Systems.