

Groupe THEORIE

Journée M2PSA du 3 octobre 2013 "stages et thèses" 2013/2014

Hervé MOLIQUE, pour le Groupe THEORIE

IPHC/DRS et Université de Strasbourg

Herve.Molique@iphc.cnrs.fr

Le Groupe THEORIE en quelques mots...

Coordinateur

Hervé MOLIQUE

Herve.Molique@iphc.cnrs.fr

Tél : 03 88 10 66 88

Localisation au sein de l'IPHC

Bâtiment 27, premier et deuxième étage

9 enseignants-chercheurs

- M. Johann BARTEL, Maître de Conférences
- M. Jerzy DUDEK, Professeur
- Mme Marianne DUFOUR, Maître de Conférences
- M. Benjamin FUKS, Maître de Conférences
- M. Jean-Luc JACQUOT, Maître de Conférences
- M. Hervé MOLIQUE, Maître de Conférences
- M. Janos POLONYI, Professeur
- M. Michel RAUSCH de TRAUBENBERG, Professeur
- Mme Dominique SPEHLER, Maître de Conférences

contact: prenom.nom@iphc.cnrs.fr

5 chercheurs CNRS

- M. Etienne CAURIER, Directeur de Recherches Emérite
- M. Rimantas LAZAUSKAS, Chargé de Recherches
- M. Frédéric NOWACKI, Directeur de Recherches
- Mme Kamila SIEJA, Chargée de Recherches
- M. Andres ZUKER, Directeur de Recherches Emérite

contact: prenom.nom@iphc.cnrs.fr

Etudiants en thèse

- M. Adam ALLOUL (thèse soutenue en septembre 2013)
- M. Bountseng BOUNTHONG
- M. David ROUVEL
- M. Loic SENGELE (expérience/théorie)
- Mme Héléna SLIWINSKA

Post-doc

- Mme Houda NAIDJA

ACTIVITES DE RECHERCHE

STRUCTURE NUCLEAIRE ET REACTIONS

**J. Bartel, E. Caurier, J. Dudek, M. Dufour, R. Lazauskas,
H. Molique, F. Nowacki, K. Sieja, A. Zuker**

- Systèmes "few-body"
- Modèles en amas
- Théorie du champ moyen auto-cohérent et non auto-cohérent
- Théorie de la symétrie
- Problème à N-corps quantique
- Interaction nucléon-nucléon
- Théorie des groupes
- Modèle en couches
- Fusion-fission, réactions d'intérêt astrophysique
- Recherches pluridisciplinaires (BETASHAPE)

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ET THÉORIE DES CHAMPS

**B. Fuks, J.L. Jacquot, J. Polonyi, M. Rausch de Traubenberg,
D.Spehler**

- Théories de jauge (non)commutatives
- Condensat de Bose-Einstein
- Effets non perturbatifs
- Groupe de renormalisation
- Décohérence
- Causalité et relativité générale

PHYSIQUE AU-DELA DU MODELE STANDARD / AUX COLLISIONNEURS

**B. Fuks, J.L. Jacquot, J. Polonyi, M. Rausch de Traubenberg,
D.Spehler**

- Etude formelle et mathématique de la supersymétrie
- Etude phénoménologique de la supersymétrie
- Etude phénoménologique des extra-dimensions
- Etude phénoménologique des théories de grande unification
- Outils automatisés pour la physique des collisionneurs
- Calculs de précision (corrections NLO, resommation)

3 SUJETS DE STAGE M2

Proposition de sujet de stage M2

“Etude des sections efficaces de production de l’anti-hydrogène \bar{H} et de l’ion antihydrogène \bar{H}^+ dans l’expérience GBAR”

- Responsables: R. LAZAUSKAS, M. DUFOUR et M. P.-A. HERVIEUX (IPCMS)
- GBAR = Gravitational Behavior of Antihydrogene at Rest
- Objectif: Calcul de sections efficaces pour modèle de collision quantique à deux corps $\bar{p} + Ps \rightarrow \bar{H} + e^-$
- Objectif: Résolution numériques d’équations différentielles couplées
- Objectif: Comparaison à des résultats obtenus par méthode exacte
- Aspects formels et numériques
- **Poursuite en thèse possible**

Proposition de sujet de stage M2

“Détermination du champ moyen nucléaire à partir de l'interaction à deux corps”

- Responsables: H. MOLIQUE et J. DUDEK
- Difficultés passage interaction nucléon-nucléon nue vers interaction dans le milieu nucléaire et vers le champ moyen
- Critères de symétries fondamentales donnent structure formelle...
- ... mais pas les facteurs de forme (dépendance en fonction de la distance inter-nucléon)
- Objectif: Détermination de ces facteurs de forme par comparaison avec l'expérience
- Objectif: Analyse au-delà des termes standards: spin-orbite anti-symétrique, spin-orbite quadratique etc.
- Aspects formels et numériques
- **Poursuite en thèse possible**

Proposition de sujet de stage M2

“Pouvoir prédictif des théories en physique subatomique”

- Responsables: J. DUDEK et H. MOLIQUE
- Problème de la détermination des paramètres gouvernant les termes de champ moyen à partir des données expérimentales
- Objectif: Test de la théorie du Problème Inverse dans le cadre du champ moyen pour des interactions phénoménologiques simples
- Objectif: Analyse critique des paramètres (Décomposition en Valeurs Singulières) et application éventuelle de méthodes de régularisation
- Aspects formels et numériques
- **Poursuite en thèse possible**

3 SUJETS DE THESE 2014

“Ab-initio description of few-particle collisions”

- Directeur: M. DUFOUR
- Co-encadrants: R. LAZAUSKAS et M. P.-A. HERVIEUX (IPCMS)
- Suite logique du stage M2
- Calcul des **résonances** et de **taux de production** pour les réactions $\bar{p} + Ps \rightarrow \bar{H} + e^-$ et $\bar{H} + Ps \rightarrow \bar{H}^+ + e^-$
- Détermination du **spectre neutrino** dans la décroissance beta de ${}^9\text{Li}$ et ${}^8\text{He}$ à l'aide du modèle à 3 clusters
- Calcul d'**autres réactions à 3 et 4 corps** d'intérêt en physique nucléaire et astrophysique
- Solution exacte pour le **problème de diffusion à 5 corps**
 ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + n$

Proposition de sujet de thèse

“Etude systématique des interactions autorisées par les symétries fondamentales dans le cadre du champ moyen nucléaire”

- Directeur: J. DUDEK
- Co-encadrant: H. MOLIQUE
- Suite logique du stage M2
- **Description systématique** des interactions nucléon-nucléon autorisées par les symétries fondamentales
- Cadre formel: **décomposition spin-tenseur**
- Etude de possibles **hyérarchisations** de ces termes
- **Paramétrisation solide** de ces interactions dans le cadre du Problème Inverse, basée au besoin sur des **méthodes de régularisation** (Tykhonov ...)

Proposition de sujet de thèse

“Pouvoir prédictif des théories: simulations par des modèles exacts et applications à des théories réalistes en physique subatomique”

- Directeur: J. DUDEK
- Co-encadrant: H. MOLIQUE
- Suite logique du stage M2
- Construction de **modèles mathématiques** illustrant le principe de la détermination des paramètres théoriques et du calcul de leurs **distributions de probabilité**
- Application dans le cadre de **calculs réalistes (théories microscopiques)**
- **Confrontation directe avec résultats expérimentaux**
- Collaboration avec **groupes expérimentaux** locaux et internationaux

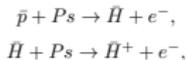
Etude des sections efficaces de production de l'antihydrogène \bar{H} et de l'ion antihydrogène \bar{H}^+ dans l'expérience GBAR

Responsables du stage : R. Lazauskas (IPHC)¹, M. Dufour (IPHC)², P.A. Hervieux (IPCMS)³

Laboratoire d'accueil : Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Groupe de Physique Théorique, 23 rue du Loess, BP 28, 67037 Strasbourg cedex 2

Plusieurs projets liés à la production et à l'utilisation des atomes d'antihydrogène sont actuellement en cours au CERN [1, 2, 3]. Ces atomes permettent notamment d'étudier de nombreux aspects de l'antimatière. Dans ce contexte, le projet GBAR (Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest) se propose de réaliser pour la première fois, un test du principe d'équivalence avec de l'antimatière, en mesurant la chute libre d'atomes ultra froids d'antihydrogène. Le premier objectif est de mesurer l'accélération gravitationnelle avec une précision supérieure à un pourcent. A plus long terme, le but est d'atteindre une meilleure précision en utilisant les états quantiques gravitationnels de l'antihydrogène.

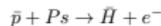
Le succès de ce programme expérimental est toutefois lié à la connaissance précise du taux de production de l'ion antihydrogène qui s'effectue selon la séquence des deux réactions suivantes :



où \bar{p} désigne l'antiproton, e^- l'électron et Ps l'atome de positronium.

Dans ce processus, les sections efficaces de production de l'antihydrogène sont très petites. Ceci est due à l'énergie de collision de l'ordre du keV des antiprotons, qui s'avère très élevée pour ce type de collisions. Une compréhension théorique du mécanisme de réaction est requise afin d'optimiser les conditions de l'expérience. Par exemple, ces réactions montrent une série de résonances [4] avantageuse à exploiter afin d'obtenir des taux de production plus élevés.

Lors de ce stage, nous proposons le calcul de la section efficace et l'étude des résonances de la réaction :



Cette réaction sera décrite avec un modèle de collision quantique à deux corps. Plusieurs voies de réaction seront considérées. Ce modèle conduira à des équations différentielles couplées du second ordre à une variable qui devront être résolues numériquement. Les résultats obtenus seront comparés avec celles d'une méthode exacte, développée à l'IPHC, utilisant la dynamique à trois corps.

Un sujet de thèse impliquant des méthodes théoriques plus complexes de physique à peu de corps est également proposé comme suite naturelle d'un stage réussi.

Le candidat désireux d'aborder ces sujets doit être motivé par la physique théorique et plus particulièrement par l'étude du problème à N corps quantique et de la théorie quantique des collisions.

Détermination du champ moyen nucléaire à partir de l'interaction a deux corps

L'une des thématiques essentielles en Physique Nucléaire est l'interprétation et la description de nombreux phénomènes expérimentaux dans le cadre de la théorie dite du champ moyen.

Or, l'élaboration d'un tel champ moyen en partant directement de l'interaction fondamentale entre les nucléons s'avère notoirement difficile à cause de nombreux facteurs. Parmi les causes de difficultés essentielles, citons la non connaissance complète de l'interaction elle-même, la présence d'un cœur dur, la nécessité de formes effectives des forces vu que l'interaction dans le milieu nucléaire n'est pas directement comparable à l'interaction nue etc.

En utilisant les méthodes générales de la mécanique quantique, en combinaison avec les symétries spatiales et temporelles fondamentales, l'on peut chercher à dériver les expressions les plus générales des interactions nucléon-nucléon, à certains facteurs multiplicatifs près dépendant généralement des distances inter-nucléoniques. Ceux-ci doivent être déterminés par comparaison avec les données expérimentales, ce qui constituera un des objectifs essentiels de ce stage. Il s'agira d'aller au-delà des solutions les plus couramment proposées dans la littérature, pour introduire des interactions plus « exotiques » telles que le spin-orbite antisymétrique et/ou d'autres termes de ce type.

Le travail pourra être, selon les possibilités et les motivations de l'étudiant, basé sur une activité purement formelle, ou alors une contribution à l'élaboration de programmes informatiques.

Ce stage peut être suivi par une thèse de doctorat.

Noms, prénoms et grades des responsables de stage : **MOLIQUE Hervé, Maître de Conférences, DUDEK Jerzy (Professeur CE)**

Téléphone : **03 88 10 66 88 (H. MOLIQUE) ou 03 88 10 64 98 (J. DUDEK)**

Courriels : Herve.Molique@iphc.cnrs.fr , Jerzy.Dudek@iphc.cnrs.fr

Composition de l'équipe : **[Collaboration TetraNuc] - D. Curien, H. Molique, D. Rouvel (doctorant), Cracovie, Pologne; B. Szpak, B. Fornal (professeur), K. Mazurek (adjunct); Lublin, Pologne; A. Czapka (professeur), A. Debbrowski (adjunct)**

Pouvoir prédictif des théories en physique subatomique

Un résultat expérimental doit, en principe, toujours être caractérisé par la donnée du résultat à proprement parler, mais également d'une fonction aléatoire caractérisant l'incertitude qui s'y rattache. Plus précisément, il s'agit pour le physicien de donner la distribution de probabilité du résultat en question.

D'une manière générale, il est au contraire beaucoup moins connu que les prédictions théoriques elles-aussi dépendent d'un ensemble d'erreurs « théoriques ». Leur origine réside dans le fait que le Hamiltonien de n'importe quelle théorie est connu seulement de manière imparfaite, soit que les interactions sont insuffisamment bien déterminées, soit que l'on a délibérément décidé d'ignorer certains termes à des fins de simplification mathématiques et/ou numériques. En Mathématiques Appliquées ce manque de connaissance peut être quantifié de diverses manières en se basant sur des approches probabilistes. L'une des questions fondamentales est la construction de théories à assurant la description de résultats déjà établis, mais également et surtout permettant d'effectuer des prédictions de manière fiable dans des régions voisines de la zone déjà connue, et d'en donner les distributions de probabilités associées.

Le but de ce stage est de tester la théorie dite du Problème Inverse dans le cadre du champ moyen nucléaire, à l'aide d'interactions phénoménologiques simples, en commençant par une étude des données expérimentales en termes d'excitations de particules individuelles. Puis, il s'agira d'étudier l'application des critères du pouvoir prédictif dans cette approche phénoménologique. Enfin, les faiblesses des paramétrisations existantes seront analysées, avec comme but l'élimination de ces points faibles.

Une publication des résultats est tout à fait envisageable, comme cela fut le cas pour un étudiant de l'Université de Grenoble lors d'un précédent stage effectué au sein de notre équipe [1].

Ce stage peut être suivi par une thèse de doctorat.

[1] J. Dudek, B. Szpak, A. Dromard, M.G. Porquet, B. Fornal and A. Gozdz,
Int. J. Mod. Phys. E21 (2012) 1250053.

Noms, prénoms et grades des responsables de stage : **DUDEK Jerzy (Professeur CE),
MOLIQUE Hervé, Maître de Conférences**

Ab-initio description of few-particle collisions

PhD Supervisor : HDR. M. Dufour (IPHC)¹, Dr. R. Lazauskas (IPHC)²

Co-supervisors : Prof. P.A. Hervieux (IPCMS)³

Institut : Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Groupe de Physique Théorique, 23 rue du Loess, BP 28, 67037 Strasbourg cedex 2

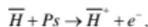
Theoretical description of the quantum-mechanical collisions turns out to be one of the most important and complex problems in theoretical physics. In the last years, following the fast evolution of the computing power, several methods have been developed to solve exactly bound state problem of the systems containing dozens of particles [1-3]. On the other hand exact description of the particle collisions remains limited to N=4 systems. The difficulty is due to the fact that the wave function of the colliding system, unlike the bound state one, is not compact and exhibit complex asymptotic behaviour. Nevertheless very recently three or four different methods have been proposed, which allow to treat problem of multi-particle collisions using bound state like techniques with compact basis [4-7]. One of the PhD supervisors is a leading contributor in this domain [6]. **During the PhD, student will explore this rapidly developing field with many possible multidisciplinary applications in nuclear, atomic, molecular physics and astrophysics.** Student will also have the possibility to learn the variational methods which allow to consider systems beyond N=4 [8].

First realistic application is related with some ongoing projects in CERN [9-11], which aim to produce and manipulate antihydrogen atoms. By manipulating antihydrogen atoms many important properties of the antimatter can be learned. One of such projects is called GBAR (Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest), aiming to perform the first test of the Equivalence Principle with antimatter by measuring the free fall of ultra-cold antihydrogen atoms. The objective is to measure the gravitational acceleration to better than a percent in a first stage, with a long term perspective to reach a much higher precision using gravitational quantum states of antihydrogen.

Success of these experiments strongly depends on the production rate of the antihydrogen ions (\overline{H}^+). Antihydrogen production involves two-step process:



followed by



Étude systématique des interactions autorisées par les symétries fondamentales dans le cadre du champ moyen nucléaire

L'une des approches les plus couramment employées dans la description de systèmes quantiques à N corps est la théorie du champ moyen. Cette formulation est largement utilisée en physique atomique, moléculaire, et en physique subatomique.

Cependant, contrairement à d'autres domaines de la physique, l'application de ce formalisme en physique subatomique s'avère plus délicat, en raison notamment de la compréhension suffisamment complète de l'interaction nucléon-nucléon. D'autres facteurs tels que la présence d'un coeur dur rendent l'application de théories de champ moyen, telles que la théorie de Hartree-Fock délicate voire impossible, et une renormalisation de l'interaction devient inévitable.

L'objectif de ce sujet de thèse est la détermination de champs moyens basés sur toutes les interactions entre nucléons telles qu'elles sont a priori autorisées par des principes de symétrie premiers - ou non, selon que l'on s'intéresse aux théories effectives.

Le cadre formel permettant une telle étude est la décomposition spin-tenseur dans laquelle le potentiel scalaire le plus général se voit construit sur les produit tensoriels d'opérateurs spatiaux et de spin.

Une telle étude systématique semble plus cohérente que l'approche traditionnelles et historique dans laquelle les différents termes ont été rajoutés sur des considérations souvent justifiées a posteriori, mais sans cadre très rigoureux. A titre d'exemple, l'interaction de spin-orbite en physique nucléaire a permis la description cohérente des nombres magiques observés, mais fût basé sur des considérations empiriques et largement inspirées des idées développées en physique atomique.

Ce sujet de thèse propose:

- une description systématique de tous les termes possibles.
- une étude d'une possible hiérarchisation de ces termes en précisant si certains sont plus systématiquement plus importants que d'autres - ou non.
- une paramétrisation solide de ces interactions par l'emploi de méthodes modernes de fits de paramètres en fonction des données expérimentales, basées au besoin sur des méthodes de régularisation.

Le candidat à cette thèse pourra et devra s'investir à la fois dans l'étude et l'utilisation de méthodes standards utilisées dans le cadre du problème à N corps, et participer à l'élaboration de programmes informatiques permettant la réalisation numérique des théories mises en oeuvre.

Pouvoir prédictif des théories : simulations par des modèles exacts et application à des théories réalistes en physique subatomique

Dans la présente proposition de sujet de thèse, nous suggérons d'abord la construction mathématiquement exacte modélisant, d'une manière simple et habituellement de manière analytique, le fonctionnement de « vraies » théories physiques réalistes. Dans notre approche, la nouvelle formulation théorique fournit non seulement les résultats bruts, i.e. les prédictions théoriques sous forme de « nombres », mais également, et cela est d'une importance primordiale, les distributions de probabilité que les prévisions soient en accord avec les résultats expérimentaux à venir. La modélisation exacte sera suivie d'applications aux calculs réalistes effectués dans le cadre de théories microscopiques parmi les plus poussées, et de la confrontation aux données expérimentales. Une collaboration étroite avec des groupes expérimentaux est envisagée dans ce contexte.

Notre groupe de recherche a établi des collaborations étroites impliquant des centres de recherches leaders au niveau mondial tels que Argonne National Laboratory (USA), Jyväskylä (Finlande), RIKEN (Japon) et Laboratori di Legnaro (Italie), et intensifié ses contacts en France avec l'Institut Laue-Langevin de Grenoble, ainsi qu'avec le GANIL de Caen.

La question du pouvoir prédictif des théories physiques reçoit actuellement une attention grandissante, étant donné qu'elle est considérée comme l'un des enjeux les plus importants de la recherche contemporaine en physique subatomique. Ceci est lié au fait que les expériences réalisées à la frontière de la connaissance dans ce domaine de recherche peuvent être réalisées seulement au sein de laboratoires uniques au monde, dans lesquels les accélérateurs suffisamment puissants ne disposent que d'un nombre limité d'heures de fonctionnement. La conséquence est que ce genre d'expérience devient de plus en plus coûteux, et obtenir suffisamment de temps de faisceau devient un enjeu majeur. Une telle évolution oblige les physiciens à concentrer leurs efforts sur des expériences présélectionnées à l'avance selon leur importance, ce qui consiste le plus souvent à retenir des expériences les plus contraignantes pour la théorie. Il apparaît par conséquent clairement que l'unique stratégie à adopter devrait viser la collaboration la plus directe et la plus étroite possible entre théorie et expérience.

Toutefois, ceci nécessite le développement plus avant des théories physiques et, d'une manière générale, des modélisations mathématiques, avec un certain test de la qualité correspondante. Si la théorie physique contient des erreurs ou inexacitudes importantes (comme cela est malheureusement souvent le cas dans la littérature actuelle) les prédictions correspondantes sont de moins en moins dignes de confiance, de même que les interprétations correspondantes des expériences déjà réalisées. Ainsi, les chances d'emprunter un mauvais chemin dans ce domaine de recherche deviennent non négligeables. Ce problème est pris de plus en plus au sérieux par la communauté scientifique, comme en témoigne la volonté de certains journaux tels que Physical Review A, de ne plus accepter la publication d'articles contenant des prédictions théoriques ou des interprétations ne mentionnant pas explicitement leurs propres incertitudes (voir par exemple les instructions en ce sens dans Phys. Rev. A83, 040001 (2011)).