Proposition de Thèse de Doctorat en Physique des Particules

Le boson de Higgs ....

La brisure spontanée de la symétrie électrofaible est un pilier essentiel des théories modernes des interactions faibles. Dans le Modèle Standard (MS), un seul doublet de champs scalaire est nécessaire pour briser la symétrie, donnant naissance à l'unique boson de Higgs de la théorie, témoin et relique de cette brisure. La découverte de cette particule et la détermination de ses propriétés fondamentales seront en fait le test le plus crucial du Modèle Standard et sont le but majeur de toutes les expériences dans les collisionneurs à haute énergie présents et futurs.

Toutefois, demeure dans cette description un problème fondamental, celui de hiérarchie ou de naturalité : il n'y a pas de mécanisme permettant à la masse du boson de Higgs de ne pas être du même ordre de grandeur que l'échelle de grande unification. Les théories supersymétriques nous donnent une solution naturelle à ce problème: les divergences quadratiques dues aux particules standards et supersymétriques s'annulent entre elles automatiquement. C'est l'une des raisons majeures pour laquelle la Supersymétrie à l'échelle électrofaible a été introduite en physique des particules. Dans la version minimale, deux doublets de champs scalaires sont nécessaires, donnant naissance à un spectre plus élargi que dans le cas standard.

Un effort théorique très soutenu a été fourni ces dernières années et reste encore à fournir pour déterminer de la manière la plus précise possible les taux de production de ces particules dans les collisionneurs leptoniques et hadroniques, les rapports d'embranchement des modes de désintégration avec lesquels on pourrait les détecter, ainsi que les moyens de mesurer et de vérifier toutes les propriétés de ces particules : leurs couplages aux fermions et aux bosons de jauge, leurs auto–couplages, leurs nombres quantiques de spin et parité, etc...

... la Supersymétrie ...

La mise en évidence de la Supersymétrie à très hautes énergies constitue l'autre principale motivation pour les futurs collisionneurs de particules. Ceci consisterait, en premier lieu, à produire directement une multitude de nouvelles particules : les scalaires du secteur de Higgs et les partenaires supersymétriques scalaires et fermioniques des particules actuellement connues. Cependant il sera aussi nécessaire de mesurer certains paramètres fondamentaux [tel que le rapport des valeurs moyennes non nulles dans le vide des deux doublets de champs Higgs] et de vérifier un certain nombre de relations entre couplages et masses imposées par la Supersymétrie. Ceci permettra de reconstruire le Lagrangien à basse énergie, ce qui rendrait possible la détermination de la structure de la physique sous–jacente à l'échelle de Grande Unification. Ce dernier point requiert l'étude du plus grand nombre possible de processus de production et de désintégration des particules supersymétriques et des bosons de Higgs, en particulier les processus d'ordre supérieur [production associée de plusieurs particules et désintégration à plusieurs corps]; il met en jeu aussi les effets quantiques [effets virtuels] qui peuvent dépendre fortement du modèle et dont l'ordre de grandeur n'est pas toujours entièrement maîtrisé.

... et la Cosmologie.

La physique des particules et les modèles supersymétriques en particulier [bien que la motivation première pour leur introduction ne soit pas celle–là] ont un candidat parfait pour la matière noire ou masse manquante de l'Univers : le neutralino le plus léger, qui est une combinaison des partenaires supersymétriques des bosons de jauge et de Higgs neutres. Dans les modèles minimaux, c'est généralement la particule supersymétrique la plus légère (LSP) : elle est non–baryonique, électriquement neutre, massive et, en vertu d'une symétrie discrète appelée R–parité, absolument stable.

Un effort théorique important, auquel nous nous sommes joints récemment, est consacré à l'estimation de la densité relique cosmologique de ces particules, densité inversement proportionnelle à la section efficace d'annihilation des neutralinos LSP en particules standards, ainsi qu'à l'étude des modes permettant leur détection directe (via leur interaction avec des noyaux) et indirecte (par exemple, sous forme de rayons gamma très énergétiques dus à leur annihilation dans le halo de notre galaxie et de galaxies proches) dans les expériences d'Astroparticules.

Le but du travail :

Le Modèle Standard Supersymétrique Minimal (MSSM) constitue le modèle phénoménologique de base pour l'étude de la Supersymétrie aussi bien auprès des accélérateurs de particules que dans des considérations astrophysiques ou cosmologiques. Ce modèle a beaucoup de paramètres libres en général, mais il acquiert tout son intérêt quand on considère des scénarios faisant jouer un rôle important soit à l'interaction gravitationnelle soit à un secteur de jauge donnant une origine dynamique à la brisure de la Supersymétrie tout en réduisant le nombre de paramètres libres du modèle. Cette brisure est à son tour partiellement à l'origine de la brisure de la symétrie électrofaible. Ces modèles contraints nécessitent une étude approfondie de :

– L'évolution des paramètres standards et de ceux brisant la Supersymétrie, entre les grandes échelles où ils sont définis (échelle de Grande Unification ou autre) et l'échelle électrofaible où ils interviennent dans les processus physiques qu'on considère.

– L'étude du potentiel scalaire responsable de la brisure de la symétrie électrofaible et la détermination des paramètres qui l'encodent , à travers l'évolution quantique des degrés de liberté de la théorie et la structure du vide à basse énergie.

– La détermination du spectre de superparticules et de bosons de Higgs qui devra être faite de manière précise et où on devra donc inclure les corrections quantiques.

– L'analyse phénoménologique qui accompagne la recherche expérimentale de la Supersymétrie auprès des collisionneurs à très haute énergie [étude des modes de désintégration, des processus de production et des propriétés fondamentales] et dans les expériences d'Astroparticules [densité relique, taux de détection directe et indirecte].

Ces études ne se feront pas exclusivement dans le cadre du MSSM : des extensions, telles que le NMSSM où un singulet de Higgs supplémentaire est ajouté au spectre, ou le MSSM avec violation de la R–parité [impliquant la non–stabilité de la LSP] et la violation de la symétrie CP, seront aussi étudiées. C'est donc un programme de recherche assez vaste et varié qu'on se propose de mener dans un futur proche.

L'équipe du LPMT :

L'étude théorique et phénoménologique des interactions entre les particules fondamentales de la matière et du rayonnement est un des points forts du Laboratoire de Physique Mathématique et Théorique (LPMT) de l'Université de Montpellier II (UMII) remontant à sa création. L'équipe travaillant sur les interactions éléctrofaibles des particules est composée d'un enseignant à l'UMII, Michel Capdequi-Peyranère, et de six chercheurs au CNRS, Abdelhak Djouadi, Karsten Jedamzik, Jean-Loic Kneur, Jacques Layssac et Gilbert Moultaka. C'est une équipe relativement jeune, assez homogène et très dynamique. Selon les années (et les possibilités de financement) s'ajoutent des post-doctorants. Par exemple, l'année dernière, nous avions deux post-doctorants : Margarete Mühlleitner (actuellement post-doc en Suisse) avec une bourse Européenne et Aseshkrishna Datta (actuellement post-doc en Floride) avec une bourse du MNERT.

Plusieurs outils développés à Montpellier, en particulier le programme `Suspect` pour le calcul complet du spectre de particules dans le MSSM ainsi que les programmes `HDECAY` et `SDECAY` pour l'étude des rapports d'embranchement des modes de désintégration des bosons de Higgs et des superparticules, seront utiles pour ces études.

Le cadre de travail :

Nos activités dans le domaine de la physique des particules se placent tout naturellement dans le cadre du "GDR Supersymétrie" (récemment devenu un GDR Européen) et de ses groupes de travail MSSM et Outils et dans celui du contrat Européen "Physics at Colliders" qui a pour principal objectif la recherche de la Supersymétrie auprès des futurs collisionneurs. Elles se font en étroit contact avec les expérimentateurs de la physique des hautes énergies, en particulier ceux travaillant auprès des collisionneurs hadroniques "Tevatron" (Fermilab) et "Large Hadron Collider" (LHC, CERN) et électron–positron tels que le "Large Electron–Positron" (LEP CERN) et le "Next Linear Collider" (NLC) dont le projet est en cours d'étude aux USA, au Japon et en Europe (en particulier le projet TESLA de DESY dans lequel nous nous sommes directement impliqués).

Dans le cadre de l'Astroparticules, où l'accent est surtout mis sur le problème de la matière noire dans l'Univers et son lien avec la Supersymétrie, nous participons au GDR–PCHE (Phénomènes Cosmiques de Hautes Énergies) et avons des échanges avec les expérimentateurs du GAM (Groupe d'Astroparticules de Montpellier) de création récente à l'Université de Montpellier II.

La direction de la thèse:

La thèse sera dirigée par Abdelhak Djouadi, Directeur de Recherche au CNRS et actuellement (jusqu'à fin septembre 2003) Scientific Associate au CERN à Genève. Elle se déroulera bien sur au LPMT de Montpellier. Pour plus de détails (centres d'intérêt, liste de publications, conférences récentes données, participation à des groupes de travail, etc..), voir sa page web: `http://www.cern.ch/djouadi/` .

A. Djouadi a dirigé et co–dirigé plusieurs thèses de doctorat en France et à l'étranger. Pour plus d'informations, voir le site web: `http://www.cern.ch/djouadi/these.html` et/ou lui envoyer un E-mail à l'adresse: `djouadi@lpm.univ-montp2.fr` .