



Proposition de Stage M2 / Thèse

HARPO

Polarimétrie et astronomie γ de haute précision angulaire et à bas bruit de fond, du MeV au TeV

Contexte scientifique. L'émission de rayons γ par les sources cosmiques est due à des processus radiatifs, non-thermiques (synchrotron, inverse Compton) ou à des interactions nucléaires. Les sources les plus brillantes sont les pulsars, les noyaux actifs de galaxie (AGN) et les sursauts de rayonnement γ (GRB). Dans l'optique et en X, l'analyse du degré et de la direction de la **polarisation linéaire** de la lumière émise par les sources cosmiques est un ingrédient majeur de la compréhension de la physique de ces sources. En γ , aucune mesure significative de polarisation n'est disponible à ce jour.

D'autre part, entre la plage en énergie des rayons X durs (10 keV – quelques MeV) où les télescopes Compton sont particulièrement sensibles, et la plage en énergie des rayons γ de haute énergie (1 – 300 GeV) où les télescopes sur satellite comprenant un tracker de paires e^+e^- à convertisseur en tungstène sont très efficaces [1], un **gap en sensibilité** [2] handicape la compréhension des spectres.

Le projet au LLR. Nous développons un polarimètre utilisant la modulation de l'angle azimutal ϕ des événements issus de conversions "triplet" de photons γ dans le champ d'un électron du détecteur, c'est à dire $\gamma e^- \rightarrow e^+e^-e^-$. L'électron "de recul" est émis à grand angle par rapport à la direction de vol du photon incident, ce qui permet la mesure de ϕ . La production de paire "nucléaire" ($\gamma A \rightarrow e^+e^-A$) fournit une astronomie de précision mais ne permet pas la polarimétrie.

L'asymétrie de polarisation est proche de 20% jusqu'aux plus hautes énergies, et la surface effective est proche de celle des détecteurs de la classe de [1] à masse équivalente, avec une sensibilité jusqu'à une limite basse en énergie de quelques MeV, et une précision angulaire attendue 10 fois meilleure que celle de [1], soit un bruit de fond sur une source ponctuelle 100 fois plus faible.

A delà de l'amélioration triviale de la qualité de l'instrument, l'excellente sensibilité aux rayons γ d'énergie moyenne permettra d'observer par exemple, le cut-off des GRB, permettant une mesure de distance, ou de cartographier la "bosse" dans le spectre en énergie des γ due aux désintégrations de π^0 , trace des interactions des rayons cosmiques de très haute énergie près de leur lieu de production.

Le démonstrateur est une chambre à projection temporelle (TPC) de 30 cm de côté, utilisant un gaz à base d'argon à 5 bar. L'intégration du détecteur a eu lieu cet été et une campagne de prise de données en rayons cosmiques (chargés) est prévue cet hiver.

Le sujet de stage (printemps 2012). Il s'agira de caractériser les performances de trajectographie de la TPC par l'analyse des données acquises en cosmiques.

Le sujet de thèse (2012 – 2015). Il s'agira:

- D'une part de caractériser les performances du détecteur dans la mesure de photons: pour l'astronomie (non polarisée); et comme polarimètre.

- D'autre part d'effectuer la première mesure précise des asymétries de polarisation à basse énergie.

Les publications des travaux effectués lors de cette thèse seront donc de nature technique (NIM A) et scientifique (PRL). La thèse se déroulera en trois temps: prise de données en faisceau de photons polarisés; analyse de ces données et confrontation avec les simulations; publication.

En fonction du goût du doctorant, la thèse pourra comprendre de plus:

- Une contribution formelle aux générateurs d'évènements utilisés en physique des particules (ni GEANT4 ni EGS5 ne simulent la création de paire de γ polarisés correctement, actuellement).
- Une composante astrophysique, avec une modélisation de la polarisation du rayonnement des GRB's, des modèles très différents prédisant des valeurs variant entre 10% et 100%!
- Enfin, après la phase en cours de validation au sol, le groupe enchainera sur la caractérisation d'un prototype en vol stratosphérique ou spatial et si le calendrier le permet, le doctorant sera associé à sa préparation.

Le laboratoire. Le LLR [3], laboratoire de physique expérimentale dont le programme de recherche porte sur la physique des particules et l'astrophysique.

Le groupe. Le groupe d'astronomie γ du LLR [4] comprend une quinzaine de personnes, participant à 2 expériences (HESS: Cerenkov au sol, Fermi: satellite[1]) et un projet, "Cerenkov Telescope Array" (CTA), avec une symbiose croissante (analyses "multi-longueur d'onde") et un intérêt particulier pour l'étude des AGN's. Et enfin, le présent projet, "**Hermetic ARgon Polarimeter**" (**HARPO**).

Le directeur de stage / thèse. Denis Bernard, HdR, 01 69 33 55 34, denis.bernard@in2p3.fr.

Possibilités de financement.

Après la présentation du projet au comité "astro" du CNES, le rapport mentionne : "[..] *Le groupe Astronomie et Astrophysique reconnaît l'importance des objectifs scientifiques et techniques de HARPO. Il souligne l'originalité de ce projet par rapport aux détecteurs actuellement à l'étude et couvrant une plage en énergie voisine, voire partiellement commune. Le groupe soutient le projet dans l'accomplissement de sa phase sol et est très favorable à l'attribution aux proposant du financement d'une demi-bourse de thèse en vue des tests sous faisceaux prévus à l'automne 2012. [..]*"

Le complément est à demander à l'EDX, Ecole doctorale de l'Ecole Polytechnique.

Séjours à l'étranger. Les prises de données auront lieu auprès d'anneaux de stockage disposant de lignes de faisceau de γ polarisés, après des accélérateurs SPring8 et NewSubaru situés sur le même site au Japon.

denis.bernard@in2p3.fr oct. 2011.

References

- [1] W. B. Atwood *et al.* [LAT Collaboration], "The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope Mission," *Astrophys. J.* **697**, 1071 (2009)
- [2] "Lessons learnt from COMPTEL for future telescopes", V. Schönfelder, *New Astr. Rev.* 48 (2004) 193
- [3] Le Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR) est une unité mixte de recherche (UMR 7638) de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et de l'Ecole polytechnique. <http://llr.in2p3.fr/>
- [4] Groupe d'astronomie γ du LLR, resp. Berrie Giebels, 01 69 33 55 53, berrie@llr.in2p3.fr.