



POSITRON : Physique du positron et du positronium

Ce travail aborde plusieurs aspects de la physique du positron et du positronium. Il comporte des aspects fondamentaux (expérience de disparition de l'orthopositronium, recherche de matériaux pour produire un faisceau d'anti-hydrogène), des aspects de physique instrumentale : mise au point d'un banc de mesure par spectroscopie de positrons, d'un faisceau de positrons pulsé et à électrons secondaires, ainsi que des aspects plus appliqués : étude de matériaux (polymères ou alumine poreuse). Les aspects de formation ne sont pas absents (plusieurs thèses). Une telle diversité de sujets n'a pu être abordée qu'à travers une collaboration pluridisciplinaire.

Introduction

Le positronium constitue un système lié qui ressemble par certains aspects à l'atome d'hydrogène. Par d'autres aspects, il présente un grand intérêt pour des expériences de physique au-delà du Modèle Standard (recherche d'extra-dimensions, violation de CP...). Enfin, le positron et le positronium constituent des outils permettant d'obtenir des informations sur les structures de certains matériaux à l'échelle du nanomètre. Le positron et le positronium permettent donc d'aborder aussi bien des aspects de physique fondamentale que de physique appliquée ou d'instrumentation. Ces différents aspects sont illustrés sur les figures ci-après.

La collaboration

L'ensemble de ce travail a réuni une collaboration au sein de l'Université de Savoie (LAPP - Annecy-le-Vieux, LMOPS - Le Bourget-du-Lac).

Points forts

L'équipe a participé à tous les aspects du programme, en particulier : l'installation du banc du LMOPS (thèse de J. Viret), le développement du faisceau de positrons (thèse de T. Anthonioz) et les aspects concernant la physique fondamentale (mesures de disparition de l'oPs, recherche de matériaux pour l'expérience AEGIS).

Celle-ci s'est insérée à son tour dans une collaboration internationale : ETH-Zürich, INP-Minsk, INR-Moscou, INRNE Sofia.

Activités de recherche du groupe du LAPP

Le LAPP a contribué à tous les aspects cités ci-dessus. Les aspects caractérisation et faisceau ont de plus été développés en collaboration étroite avec un autre laboratoire de l'université de Savoie (LMOPS). L'équipement mis en place au LMOPS a été installé avec la collaboration de N. Djourellov (INRNE Sofia), professeur invité à l'Université de Savoie. Il comprend deux bancs de PALS (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) et un banc de DBS (Doppler Broadening Spectroscopy). Cet équipement sera bientôt complété par un dispositif permettant d'effectuer des mesures en fonction de la température (~40° K à ~700° K), pour permettre des études de relaxation et de transition

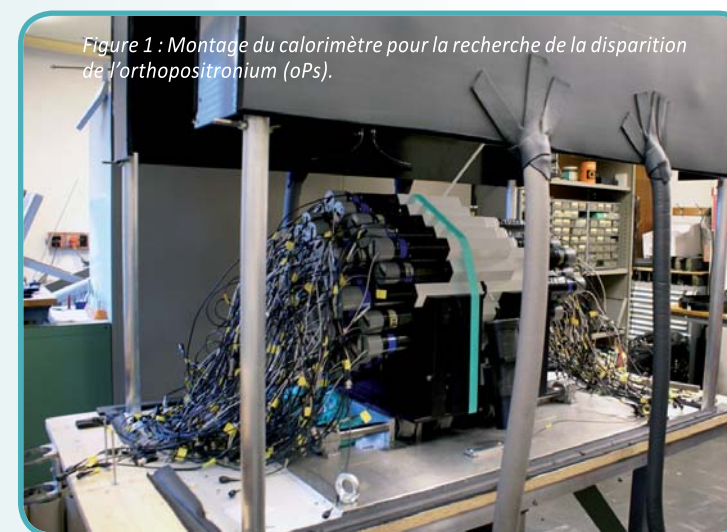


Figure 1 : Montage du calorimètre pour la recherche de la disparition de l'orthopositronium (oPs).

de certains matériaux. L'apport et les conseils du professeur R. Grynszpan (LCMTR, UPR-209, ISCSA, IFR-CNRS) ont été particulièrement précieux pour ce travail (Publication 4).

Le faisceau de positrons pulsé, développé pour permettre des mesures par PALS, a permis d'atteindre des performances particulièrement intéressantes (haute efficacité et bonne résolution temporelle ~ 300 ps fwhm) (Publication 5). Ce même faisceau s'est vu adjoindre une mesure temporelle basée sur l'utilisation d'électrons secondaires issus de l'échantillon. La résolution temporelle atteinte, ~ 700 ps fwhm, a permis de caractériser des matériaux poreux (matériaux à faible constante diélectriques destinés à l'industrie électronique) (en cours de publication).

La collaboration a mesuré la limite de disparition de l'orthopositronium (probabilité à 3 sigma de confiance) au niveau de 4×10^{-7} , améliorant de presque un ordre de grandeur la limite existante. L'existence de ce processus de disparition de l'orthopositronium est prévue par certains modèles d'extra-dimensions (modèle de Randall-Sundrum, ou modèle d'univers miroir par exemple) (Publication 1).

Enfin, dans un processus de recherche d'un matériau susceptible de permettre une production efficace d'orthopositronium, pour former un faisceau d'anti-hydrogène (Publication 3), il a été montré qu'il était possible de produire des orthopositroniums dans l'alumine poreuse, dans une phase polycristalline. La structure du matériau laisse, de plus, espérer que les oPs produits pourraient être thermalisés (Publication 3).



Figure 2 : Développement technique concernant faisceaux de positrons et détecteurs.

Résultats, remerciements

Ces résultats ont été obtenus grâce au soutien de la région Rhône-Alpes à travers un projet Avenir. Les contacts entre les différents groupes de la collaboration ont été grandement facilités par le soutien du Ministère des Affaires étrangères à travers des projets ECONET et Hubert Curien :

- Projet Avenir (région Rhône-Alpes 2004-2006) : développement des techniques de positrons pour les matériaux.
- PAI Franco-Suisse Germaine de Staël 2004-2006.
- Réseau ECONET 2006-2007 : collaboration LAPP-LMOPS-INR (Moscou), INP (Minsk).
- Collaboration CNRS Académie des Sciences de Biélorussie.
- PHC 2008-2009 Rila : France – Bulgarie.
- Réseau ECONET 2008-2009 : collaboration LAPP-LMOPS-INR (Moscou), INP (Minsk), INRNE (Sofia).
- Les invitations de professeurs (G. Drobychev et N. Djourellov) par l'Université de Savoie ont été également une aide précieuse pour la collaboration.

Plan pour 2010-2014

Compte tenu des moyens réduits, il nous faut exprimer plutôt des possibilités que des plans. Celles-ci comprennent :

- Le développement d'une collaboration pour la caractérisation de matériaux, avec différents laboratoires.
- Eventuellement, la mise au point d'un faisceau de positrons à électrons secondaires.
- La recherche de matériaux permettant d'optimiser la production d'orthopositronium pour la production d'un faisceau d'anti-hydrogène.



Figure 3 : Physique des matériaux : mise en route d'un banc de mesures basé sur la physique du positron au LMOPS (Laboratoire des Matériaux Organiques à Propriétés Spécifiques - Le Bourget du Lac).

Thèses

J. Viret, « Mise en place de technique par mesure de temps de vie des positons et application à la caractérisation de matériaux », Doctorat « Physique expérimentale et Instrumentation » soutenu le 19 juin 2006 à l'Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac.

T. Anthonioz, « Développement d'un faisceau de positrons lents pour des mesures de physique de l'orthopositronium et de spectroscopie de temps de vie », Doctorat « Physiques des Particules, école doctorale de Physique et d'Astrophysique de Lyon », soutenu le 12 décembre 2007 à l'Université de Savoie, (LAPP) Annecy-le-Vieux.

N. Laforest, « Interaction des positons avec les systèmes macromoléculaires », Doctorat « Matériaux Polymères et Composites », soutenu le 3 décembre 2008 à l'Université de Savoie, (LMOPS) Le Bourget du Lac.

P. Crivelli, Ph.D. thesis: "A new search for invisible decays of ortho-positronium", No. 16617, ETH Zürich, Switzerland (2006).

Publications importantes

1. "An Improved Limit on Invisible Decays of Positronium", A. Badertscher et al, Phys. Rev D75 (2007), 032004.
2. "Proposed antimatter gravity measurement with an antihydrogen beam", AEGIS collaboration Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266 (2008) 351–356.
3. "A study of positronium formation in anodic alumina", N Djourellov et al, J. Phys.: Condens. Matter 20 (2008) 095206 (8pp) doi:10.1088/0953-8984/20/9/095206.
4. "Symmetric analog positron lifetime spectrometer utilizing charge-to-digital converters", N. Djourellov et al, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B264(2007)165–170.
5. "Development of a high-efficiency pulsed slow positron beam for measurements with orthopositronium in vacuum", N. Alberola et al, Journal-ref: Nucl.Instrum.Meth.A560 (2006) 224-232.

L'équipe du LAPP

Physicien : **D. Sillou**

Doctorants : **J. Viret (jusqu'en juin 2006), T. Anthonioz (jusqu'en décembre 2007)**