

Prospective 2017-2026 du Département de Physique des Particules: recherche directe de matière noire et axions

Document rédigé par Pierre Brun

Eric Armengaud, Laurent Chevalier, Esther Ferrer-Ribas (DEDIP), Ioanis Giomataris (DEDIP),
Claudia Nones, Thomas Papaevangelou (DEDIP), Maxim Titov

Note: Certains thèmes ou expériences sont représentés officiellement uniquement par des chercheurs du DEDIP mais il nous a semblé important de les inclure dans la prospective DPhP.

Au DPhP, la recherche de la nature de la matière noire non-baryonique se fait selon au moins quatre axes : neutrinos stériles auprès de réacteurs et impact sur la formation des structures, recherches indirectes avec l'analyse des données de H.E.S.S. et des expériences de rayons cosmiques, et recherche directe dans les laboratoires. Ce dernier axe fait l'essentiel de l'objet de ce rapport, nous y avons ajouté la recherche d'axions solaires en raison de la proximité thématique. Les recherches directes d'identification nécessitent des hypothèses sur la nature de la matière noire, nous recherchons à l'Irfu des particules massives à interactions faibles, et des axions. En partie en raison des résultats négatifs sur la recherche de supersymétrie au LHC, le focus des recherches a opéré un glissement, en s'éloignant du WIMP typique d'une centaine de GeV pour se re-concentrer sur les basses masses (GeV et en deçà) et sur des modèles différents comme les axions. Dans les cinq à dix ans à venir, cette tendance devrait vraisemblablement se confirmer.

Recherche de WIMPs, bolomètres

L'expérience EDELWEISS, tout comme son principal concurrent CRESST se concentrent actuellement sur les basses masses dans la gamme 500 MeV à 5 GeV [1-3], les régions de plus hautes masses étant dominées par les expériences au Xenon. Dans sa phase actuelle, deux directions sont privilégiées par la collaboration avec d'une part la recherche de l'origine d'un bruit de fond limitant (présence d'événements chaleur seulement) et d'autre part l'organisation de prises de données avec les détecteurs sous haute tension. Une fois le bruit de fond de chaleur compris, l'expérience EDELWEISS sera compétitive vis-a-vis des autres détecteurs bolométriques CRESST et SCDMS. Ces dernières années, EDELWEISS a été utilisé également pour la recherche de matière noire sous forme d'axions [4]. L'avenir de la collaboration est donc encore incertain et l'implication future des physiciens du DPhP dépendra des résultats de R&D sur les détecteurs. Par ailleurs la technologie des bolomètres sera à l'avenir utilisée pour les expériences de double beta. Les discussions autour de l'expérience EDELWEISS posent la question de la présence d'expériences de physique ou de R&D à Modane. Certains membres du département tiennent à maintenir une présence au LSM. Cela permettrait de maintenir une activité de développement autour des bolomètres, utile à la fois pour le double beta et les recherches de matière noire. Du point de vue de la physique il est envisageable de faire des mesures nucléaires fines comme service pour d'autres expériences, ou de profiter d'opportunités liées à de petites expériences pour le MeV ou de la détection directionnelle. Le cryostat servirait alors de plateforme cryogénique pour la recherche de matière noire dans des canaux plus exotiques. Dans la décennie à venir, de nombreuses idées liées à de la physique exotique pourront valider ce choix (secteur caché, matière noire au MeV, axions, mesures de reculs électroniques faibles, etc.).

Recherche de WIMPs, TPC sphérique

L'exploitation d'une TPC sphérique de 60 cm de diamètre à Modane a récemment permis d'obtenir des contraintes parmi les plus compétitives au niveau mondial sur les WIMPs de basse masse, sous le GeV [5]. Le développement d'une nouvelle électrode (Achinos) permet d'envisager une augmentation à un diamètre de plus de 1 m [6]. L'expérience se fera au laboratoire SNO. Avec l'utilisation de différents gaz (Ne, He, H) l'expérience NEWS-SNO permettra de descendre jusqu'à

des masses de l'ordre de 100 MeV. La TPC sphérique sera utilisée également pour les expériences double beta.

Recherche d'axions solaires

La principale expérience de recherche d'axions solaires est CAST. L'Irfu, par le biais du DEDIP était impliqué dans CAST entre 2003 et 2015. En 2015 Saclay est resté actif sans payer les frais de fonctionnement et signe malgré cela l'article dans Nature sur l'analyse utilisant les détecteurs micromegas et le télescope [7]. Depuis 2016, l'Irfu n'est plus dans la collaboration. Une proposition pour remonter les détecteurs micromegas sur CAST pour 3 ans à partir de 2018, elle sera discutée à la réunion de collaboration d'octobre 2017 puis au SPSC fin octobre. Au sujet de la participation de l'Irfu à CAST, à travers les physiciens du DEDIP, un soutien des physiciens du DPhP serait fortement apprécié. Cette phase sera utile également pour la préparation de l'expérience IAXO, pour laquelle plusieurs physiciens du DPhP et du DEDIP ont signé le conceptual design report [8]. L'aimant de IAXO étant particulièrement onéreux, il est envisagé de construire une expérience intermédiaire, baby-IAXO. Pour toutes ces phases, une implication du DACM serait sans doute appréciable et pose également la question d'une implication plus grande des physiciens dans IAXO.

Recherche d'axions matière noire

Un nouveau principe de détection de matière noire sous forme d'axions a été proposé en 2012, à partir de la détection d'ondes radio entre 1 GHz et 100 GHz émises de la surface d'un métal plongé dans un champ magnétique. L'opportunité de créer un montage en modifiant le banc optique de CTA s'est présentée, permettant de faire une expérience de démonstration du principe à faible coût, sans champ magnétique. Des mesures préliminaires sont prometteuses et il est envisagé de faire des demandes de financements extérieurs pour monter une petite expérience avec un champ magnétique. L'équipe du DPhP s'est rapprochée de la collaboration Madmax [9] menée par le MPI Munich, dans le but de participer aux études de principe et de soutenir le DACM dans la fourniture d'un gros aimant dipolaire. L'avenir de cette collaboration du point de vue du DPhP dépendra du financement de l'expérience de Saclay et d'éventuelles opportunités à saisir.

Proposition de création d'un groupe dédié à la physique de l'axion

Pendant les discussions avec les différents groupes, il s'avère que l'ensemble des physiciens consultés est favorable à la création d'un groupe dédié à la physique de l'axion. Il s'agirait d'un groupe d'intérêt, à l'image de ce qu'il se fait dans le groupe de cosmologie et regrouperait des physiciens du DPhP, du DEDIP et de l'IPhT. Le principal objectif serait d'avoir des réunions de réflexions régulières, dans un premier temps autour d'études phénoménologiques exploitant des données publiées. La création du groupe permettrait surtout de créer un espace web dédié, ce qui permettrait d'attirer plus facilement d'éventuels étudiants, et de gagner en visibilité à l'extérieur, point important par exemple pour les demandes de financement.

Autres expériences potentiellement d'intérêt

Lors des discussions, différentes expériences et dispositifs expérimentaux ont été mentionnés. En particulier les liens d'EDELWEISS avec l'infrastructure CUTE à SNOLAB [10] et, de façon liée, avec l'expérience SCDMS [11] sont à discuter. Un intérêt a été évoqué pour l'expérience SHiP au CERN, sur le faisceau de 400 GeV du SPS, elle serait sensible à des particules sous 400 MeV via des diffusions électroniques [12] et pourrait bénéficier de l'utilisation de détecteurs micromegas. De façon générale, il semble qu'il y ait un consensus sur l'intérêt de développer une variété de montage différents dans le cadre d'expériences de taille modeste (voir par exemple [13]).

Références et liens

1. EDELWEISS collab, L. Hehn et al., « *Improved EDELWEISS-III sensitivity for low-mass WIMPs using a profile likelihood approach* », Eur. Phys. J. 2017, arXiv:[1607.03367](#)
2. EDELWEISS collab., A. Arnaud et al., « *Optimizing EDELWEISS detectors for low-mass WIMP searches* », arXiv:[1707.04308](#)
3. EDELWEISS collab. E. Armengaud et al., « *Performance of the EDELWEISS-III experiment for dark matter searches* », JINST 2017, arXiv:[1706.01070](#)
4. E. Armengaud et al., « *Axion searches with the EDELWEISS-II experiment* », JCAP 2013, arXiv:[1307.1488](#)
5. NEWS-G collab. Q. Arnaud et al., « *First results from the NEWS-G direct dark matter search experiment at the LSM* », arXiv:[1706.04934](#)
6. A. Giganon et al., « *A multiball read-out for the spherical proportional counter* », arXiv:[1707.09254](#)
7. CAST collab. V. Anastassopoulos et al., « *CAST limit on the axion-photon interaction* », Nature Phys. 2017, arXiv:[1705.02290](#)
8. E. Armengaud et al., « *Conceptual design of the international axion observatory (IAXO)* », JINST 2014, arXiv:[1401.3233](#)
9. MADMAX interest group, P. Brun et al., « *A new experimental approach to probe QCD axion dark matter in the mass range above 40 μeV* », MADMAX white paper ([lien](#))
10. [Lien](#)
11. SuperCDMS collab., R. Agnese et al., « *New results from the search for low-mass interacting massive particles with the CDMS low ionization threshold experiment* », Phys. Rev. Lett. 2016, arXiv:[1509.02448](#)
12. [Lien](#)
13. M. Battaglieri et al., « *US cosmic visions: new ideas in dark matter 2017 : community report* », arXiv:[1707.04591](#)