

des expériences existantes. La plupart de leurs projets visaient les wimps, mais ils s'intéressaient aussi aux axions. Nos plans pour la phase 1b d'ADMX s'inséraient étroitement dans ce programme, et c'est ainsi que *ADMX Gen 2* est née.

L'expérience a été déplacée à l'université de Washington, à Seattle, sur un site plus moderne. Ainsi, *ADMX Gen 2* est entrée en service en 2016 et devrait durer jusqu'en 2021. Elle intègre le réfrigérateur à dilution qui, en diminuant le bruit, nous a fait gagner en sensibilité. Elle a plus que doublé le taux d'acquisition de données et l'ajout de nouveaux éléments a aussi contribué à améliorer la sensibilité de l'expérience. Le dispositif est en passe d'effectuer une recherche des axions pour des masses comprises entre 1 et 40 microélectronvolts.

En 2018, ADMX a publié un résultat intéressant. Jusque-là, l'expérience était capable d'exclure des axions de quelques microélectronvolts, mais elle n'était sensible qu'à des probabilités d'interaction de l'axion et du photon correspondant au modèle KSVZ, pour lequel le couplage de l'axion aux photons est 2,7 fois plus intense que dans le modèle DFSZ. Cependant, grâce aux améliorations du dispositif, pour la première fois, les chercheurs ont pu exclure des axions du modèle DFSZ pour des masses comprises entre 2,66 et 2,81 microélectronvolts. Cet intervalle de masse semble modeste, mais il illustre les capacités d'ADMX et nous encourage à poursuivre.

## LE PROBLÈME DE LA MONTRE

L'expérience ADMX est constituée de nombreux systèmes complexes qui doivent fonctionner de concert, mais la plupart de ses éléments sont maintenant au point et leur fiabilité est confirmée. Au-delà de l'aspect technique de l'expérience, la collaboration a aussi connu des changements, elle s'est élargie et inclut désormais des physiciens de nombreux laboratoires et universités. Et une nouvelle équipe de direction d'ADMX a émergé, avec comme porte-parole Gray Rybka, de l'université de Washington, et Gianpaolo Carosi, du laboratoire Lawrence Livermore.

Nous sondons désormais la plage de masses les plus plausibles pour les axions candidats à la matière noire, mais la nature peut toujours nous surprendre. Rechercher dans une plage de masses légèrement plus faibles n'est pas très compliqué; en revanche, adapter notre expérience pour rechercher des masses supérieures reste un défi.

Quand la masse des axions augmente, la fréquence de résonance de la cavité doit aussi augmenter. Cela implique de diminuer le diamètre de la cavité, ce qui réduit d'autant le volume dans lequel on peut rechercher les axions. Nous

## LE DISPOSITIF ADMX

Si les axions sont partout autour de nous, l'expérience ADMX (*Axion Dark Matter eXperiment*) pourrait les mettre en évidence quand, exceptionnellement, l'un d'eux se désintègre en photon microonde.

L'expérience met en jeu un champ magnétique intense et une cavité radiofréquence qui, quand elle est réglée sur la même fréquence que les photons produits, favoriserait leur transformation. En 2016, le projet est entré dans une nouvelle phase et a commencé sa recherche la plus sensible à ce jour.

### AIMANT DE COMPENSATION

Cet aimant plus petit annule, ou « compense », le champ magnétique de l'aimant principal au voisinage de l'amplificateur à squid, qui doit détecter le minuscule champ magnétique dû aux photons.

### AMPLIFICATEUR À SQUID

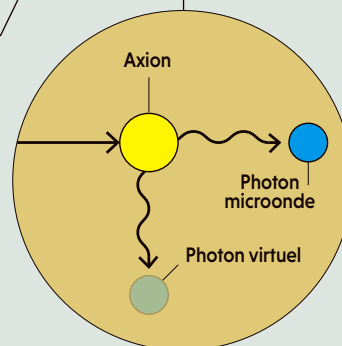
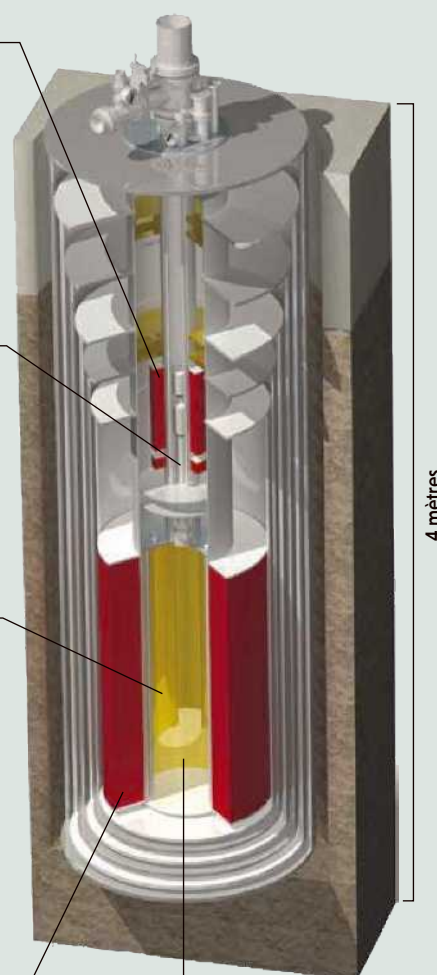
Ce magnétomètre utilise des effets quantiques pour détecter et amplifier le minuscule signal créé quand un axion se désintègre en un photon.

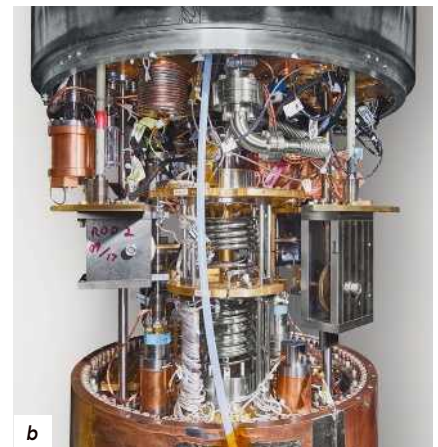
### CAVITÉ À MICROONDES

Cœur de l'expérience, cette cavité vide de matière ordinaire est le lieu où les chercheurs s'attendent à ce que les axions ambiants, qui devraient être présents partout dans l'espace si ce sont bien eux qui constituent la matière noire, se transforment en photons microondes. L'axion interagit avec le champ magnétique de la cavité par l'intermédiaire d'un photon dit « virtuel » et se désintègre en un photon microonde.

### AIMANT DE 8 TESLAS

L'aimant principal de l'expérience emplit la cavité d'un champ magnétique qui stimule la désintégration des axions en photons.





Les scientifiques installent des détecteurs dans le dispositif expérimental d'ADMX (a). La cavité entourée de cuivre est surmontée d'un réservoir d'hélium liquide et de l'électronique de l'expérience (b).

► pourrions entasser un grand nombre de cavités à l'intérieur d'un unique gros aimant pour conserver un volume appréciable, mais nous serions confrontés au «problème de la montre suisse»: la complexité d'un tel système devient très difficile à gérer. Nous pourrions aussi nous contenter d'une petite cavité, à condition d'augmenter l'intensité du champ magnétique pour compenser. Cette solution, coûteuse, est actuellement à l'étude. Il est possible que d'ici cinq à dix ans, une intensité accrue du champ magnétique (jusqu'à 32, voire 40 teslas) élargisse la plage des masses de notre recherche.

Pour des masses de l'axion beaucoup plus grandes (proches de un milliélectronvolt), les astrophysiciens auraient les moyens de contribuer à la traque. Si de tels axions existent et forment des halos de matière noire autour des galaxies, les radiotélescopes pourraient détecter des raies d'émission très faibles.

## LE FUTUR DE L'AXION

À terme, ADMX et d'autres projets parviendront à explorer l'intégralité de la fenêtre théorique des masses possibles de l'axion candidat à la matière noire. Le fait que la plage des masses plausibles soit limitée et entièrement accessible par des expériences fait de l'axion un candidat attrayant, par rapport à d'autres possibilités impossibles à tester complètement.

Tandis que nos travaux expérimentaux se poursuivent, les théoriciens font eux aussi des

progrès. Des modèles cosmologiques complexes simulés sur des supercalculateurs sont en passe de produire des prédictions plus fiables pour la masse de l'axion. Il est possible, par exemple, que les axions se soient accumulés au cours de l'histoire de l'Univers, sous l'effet de la gravité, selon une distribution différente de celle des wimps. Cela aurait des conséquences sur l'histoire de la formation des grandes structures cosmiques. Des programmes d'observations astrophysiques à venir, comme le *LSST* (*Large synoptic survey telescope*, grand télescope d'étude synoptique) opérationnel en 2020, établiront des cartes de la structure à grande échelle de l'Univers avec une précision suffisante pour permettre aux chercheurs de faire le tri entre les divers candidats à la matière noire.

Une autre possibilité serait que les axions prédits par la QCD ne soient que la manifestation d'une théorie plus fondamentale œuvrant aux échelles énergétiques les plus hautes. L'une de ces théories en lice, la théorie des cordes, prédit des axions de masse beaucoup plus petite que celles qu'explore l'expérience ADMX.

Il y a vingt ans, le consensus confortable était que la matière noire était constituée de wimps. Ces dernières années, les axions ont gagné en crédibilité. Dans un avenir pas trop lointain, nous devrions savoir si, oui ou non, ils sont la solution au mystère de la face invisible du cosmos. ■

## BIBLIOGRAPHIE

C. BOUTAN ET AL., Piezoelectrically tuned multimode cavity search for Axion dark matter, *Phys Rev Lett.*, vol. 121(26), art. 261302, 2018.

N. DU ET AL., Search for invisible axion dark matter with the Axion dark matter Experiment, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 120, art. 151301, 2018.

P. SIKIVIE, Axions, domain walls, and the early Universe, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 48, pp. 1156-1159, 1982.