



Connecting

2020
annual
report

CONNECTING

joining or fastening together / placing or establishing in relationship
uniendo o sujetando entre sí / colocando o estableciendo en relación

After several years of intense works and actions taken by the LSC staff, LSC holders and the collaborators with experiments placed underground, we are proud to surpass our record for institutions with hosted experiments and EoI this year.

Tras varios años de intensos trabajos y medidas tomadas por el personal y gestores del LSC y por los colaboradores de los experimentos, nos enorgullecemos de superar este año nuestra marca de instituciones con experimentos y EoI aprobados.

CONTENTS

Director's Statement.....	7	Presentación del Director.....	7
Introduction	9	Introducción.....	9
Report Activities 2020	16	Actividad del LSC 2020	16
Outreach 2020	19	Divulgación 2020.....	19
News & Snapshots	20	Noticias y Capturas.....	20
ANALIS	21	ANALIS	21
CROSS	25	CROSS	25
DArT in ArDM.....	27	DArT en ArDM	27
GEODYN.....	30	GEODYN.....	30
JASC	31	JASC	31
NEXT	32	NEXT	32
SUPERKGd.....	36	SUPERKGd.....	36
TREX-DM.....	37	TREX-DM.....	37
EoI-21-2018.....	39	EoI-21-2018.....	39
EoI-24-2018.....	40	EoI-24-2018.....	40
EoI-25-2018.....	41	EoI-25-2018.....	41
EoI-26-2018.....	42	EoI-26-2018.....	42
EoI-27-2018.....	43	EoI-27-2018.....	43
Publications.....	44	Publicaciones.....	44
Governing Bodies.....	46	Órganos de Gobierno	46
Advisory Committees.....	46	Comités Asesores	46
Acknowledgements	47	Agradecimientos	47

EDITING

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

COVER PHOTO:
Pablo Gómez Burgio

ÍNDICE

Presentación del Director.....	7
Introducción.....	9
Actividad del LSC 2020	16
Divulgación 2020.....	19
Noticias y Capturas.....	20
ANALIS	21
CROSS	25
DArT en ArDM	27
GEODYN.....	30
JASC	31
NEXT	32
SUPERKGd.....	36
TREX-DM.....	37
EoI-21-2018.....	39
EoI-24-2018.....	40
EoI-25-2018.....	41
EoI-26-2018.....	42
EoI-27-2018.....	43
Publicaciones.....	44
Órganos de Gobierno	46
Comités Asesores	46
Agradecimientos	47

EDICIÓN

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

FOTO DE PORTADA
Pablo Gómez Burgio



Director's Statement

The LSC (Laboratorio Subterráneo de Canfranc), second largest deep underground scientific laboratory in Europe, is run by a Consortium between the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragon and the University of Zaragoza. The LSC is part of the Spanish network of ICTS (Unique Scientific and Technological Facilities). The LSC offers to researchers from all over the world the opportunity to carry out cutting-edge science on fundamental physics, astrophysics as well as geophysics, biology and, environmental science in its facilities of unique characteristics. In fact, at the LSC the underground facilities, shielded from the natural cosmic rays' radiation, open the possibility to discover phenomena happening very rarely.

2020 has turned out to be, due to the COVID-19 pandemic, the most unexpected year in terms of our plans. Concerning our activities, we have collected the best scientific results ever, gathering the work of the experimental collaborations during the last decade. On one hand, the dark matter experiment ANAIS has presented world-renowned scientific results: it does not observe annual modulation signal in sodium iodide crystals, disproving (at 99% CL) the results of the dark matter experiment DAMA/LIBRA. On the other hand, NEXT-collaboration has measured the double beta decay of Xenon-136, showing very good energy resolution and track reconstruction, which paves the way for moving to the 100 kg detector and for planning the ton-scale detector to become one of future techniques in

Presentación del Director

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es el segundo laboratorio subterráneo a gran profundidad más grande de Europa. Lo gestiona un Consorcio compuesto por el Ministerio de Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza. El LSC pertenece a la red nacional de las Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS). El LSC ofrece a investigadores de todo el mundo la oportunidad de desarrollar ciencia de frontera en materia de física fundamental y astrofísica, además de geología, biología y ciencias medioambientales, en su ubicación de características únicas. Las instalaciones subterráneas del LSC, aisladas de la radiación cósmica natural, abren la posibilidad de descubrir sucesos que ocurren en una probabilidad muy baja.

El año 2020 ha resultado ser, debido a la pandemia de COVID-19, el más inesperado en cuanto a nuestros planes. Se han mostrado los mejores resultados científicos de la historia del LSC, con el trabajo de las colaboraciones durante la última década. El experimento de materia oscura ANAIS ha presentado sus resultados, mundialmente reconocidos: no observa modulación anual en cristales de yoduro de sodio, refutando (al 99% CL) los resultados del experimento DAMA/LIBRA. La colaboración NEXT ha medido la desintegración doble beta del Xenón-136, con muy buena resolución energética y reconstrucción de trazas, lo que allana el camino al detector de 100 kg y al detector en la escala de la tonelada, una de las técnicas futuras en las búsquedas de desintegración beta doble sin neutrinos en Europa.

neutrinoless double beta decay searches in Europe. This success comes together with progress on others, severely affected by the COVID-19 restrictions: measurements of the experiment CROSS, construction of DArT, commissioning of TREX, construction of the new Ge well-type detector and procurement of components for the CCDs facility.

Four new EoI were presented to the Scientific Committee in 2020, showing a continuous growth of activities in the lab, and work on LSC facilities is progressing: radon emanation detector, RITA project, a new ultra-low background detector based on single molecule fluorescence imaging, research and procurement of added value isotopes.

All the work and experience gathered, has helped to shape the LSC future strategy. The commitment of the lab to host a world leading double beta decay experiment, the role, as a hub of the Spanish community, to support and coordinate the contributions to build Hyper-Kamiokande in Japan and the creation of new research areas in cell biology and cryogenics underground show that we are ready for the next decade.

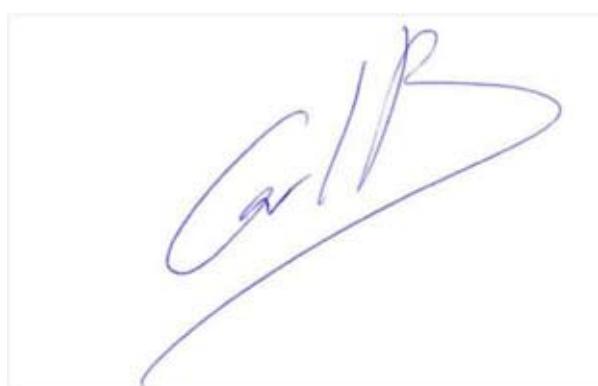
The aim of the LSC is to contribute to cutting edge scientific and technological knowledge by providing international access to a unique research infrastructure. We are eager to welcome both new scientific proposals, which could be hosted in the underground space and new requests for the LSC services. The LSC International Scientific Advisory Committee will study the scientific proposals received, giving its advice to the director based only on scientific and technological excellence.

Este éxito se une a los avances, afectados por las restricciones debidas a la COVID-19: medidas del experimento CROSS, construcción de DArT, puesta en marcha de TREX, construcción del nuevo detector de tipo Ge well y la adquisición de componentes para la instalación de CCDs.

En 2020 se presentaron cuatro nuevas EoI al Comité Científico, lo que demuestra un crecimiento continuo del laboratorio, y se continuaron mejorando las instalaciones: detector emanación de radón, proyecto RITA, detector de fondo ultrabajo basado en imagen por fluorescencia de molécula única, investigación y adquisición de isótopos de valor añadido.

Todo el trabajo y la experiencia acumulada contribuyen a configurar la estrategia. El compromiso de alojar un experimento de desintegración beta doble de vanguardia, el papel, de coordinar las contribuciones para construir Hyper-Kamiokande en Japón y la creación de nuevas áreas de investigación en biología celular y criogenia subterránea muestran que estamos preparados para la próxima década.

El objetivo es aportar conocimiento en ciencia y tecnología de vanguardia y proporcionar acceso a una infraestructura única en investigación e innovación. Acogemos nuevas propuestas científicas, que pueden ser ubicadas en el espacio subterráneo, y solicitudes para el uso de los servicios disponibles. El Comité Científico Internacional Asesor del LSC estudiará las propuestas científicas, aconsejando sobre ellas al director y basándose únicamente en la excelencia científica y técnica.



Introduction

The Canfranc Underground Laboratory (LSC) is a first-class deep underground laboratory designed for research in neutrino physics, dark matter and other unusual phenomena in nature which require very low environmental radioactivity to be observed. The location of the LSC at a depth of 800 meters below ground is excavated between the Somport road tunnel and the abandoned railway tunnel, about 8 km long at the Spain-France border. Nowadays, the LSC is the second largest and deepest laboratory in Europe, in close collaboration with the most important underground laboratories in the international context: LNGS (Italy), SNOLab (Canada) and Kamioka (Japan). The history of the laboratory begins in 1986, with the pioneering work in Spain of the team from the University of Zaragoza, led by Angel Morales. Today, the LSC is a unique multidisciplinary scientific and technical facility (ICTS), regulated as a Consortium formed by the Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragon and the University of Zaragoza, with a surface area of 1600 m² and a volume of 10000 m³ in the underground laboratory equipped with an outstanding number of facilities. The main underground infrastructure, called LAB2400, is divided into Hall A, the largest experimental area with 600 m², Halls B and C and a services area. The other underground infrastructures are called LAB2500 and LAB780 respectively, according to their distance from the Spanish entrance to the railway tunnel. In the LSC, fourteen international collaborations, with more than 250 scientists and engineers, carry out their research on the border between astroparticle physics, geodynamics or biology.



Astroparticle Physics



Railway Tunnel Entrance

Introducción

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es un laboratorio subterráneo a gran profundidad de primer nivel diseñado para la investigación en física de neutrinos, materia oscura y otros fenómenos inusuales en la naturaleza que requieren muy baja radioactividad ambiental para ser observados. La ubicación del LSC a 800 metros bajo tierra está excavada entre el túnel carretero de Somport y el antiguo túnel ferroviario, de unos 8 km en la frontera España-Francia. Actualmente, el LSC es el segundo laboratorio a gran profundidad más grande en Europa, en estrecha colaboración con los laboratorios subterráneos más importantes en el contexto internacional: LNGS (Italia), SNOLab (Canadá) y Kamioka (Japón). La historia del laboratorio comienza en 1986, con el trabajo pionero en España del equipo de la Universidad de Zaragoza, liderado por Angel Morales. Hoy, el LSC es una instalación científica y técnica singular (ICTS) multidisciplinar, regulada como consorcio formado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, con 1.600 m² de superficie y un volumen de 10.000 m³ en el laboratorio subterráneo equipado con un número destacado de instalaciones. La infraestructura principal subterránea, denominada LAB2400, se divide en Hall A, el área experimental de mayor superficie con 600 m², Hall B y C y área de servicios. El resto de las infraestructuras subterráneas anexas se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente, según su distancia a la boca española del túnel ferroviario. En el LSC, catorce colaboraciones internacionales, con más de 250 científicos e ingenieros, llevan a cabo sus investigaciones en la frontera entre la física de astropartículas, la geodinámica o la biología.

Underground laboratories are dedicated to the search for extremely unusual nuclear and sub-nuclear phenomena. Such a search requires a very low radioactive background environment. The irreducible background noise is due to cosmic rays, originated by protons and other cosmic nuclei, by hitting the nitrogen or oxygen nuclei in the upper layer of the atmosphere. The interaction of protons causes a cascade of particles, being muons and neutrinos the most penetrating of such secondary particles.

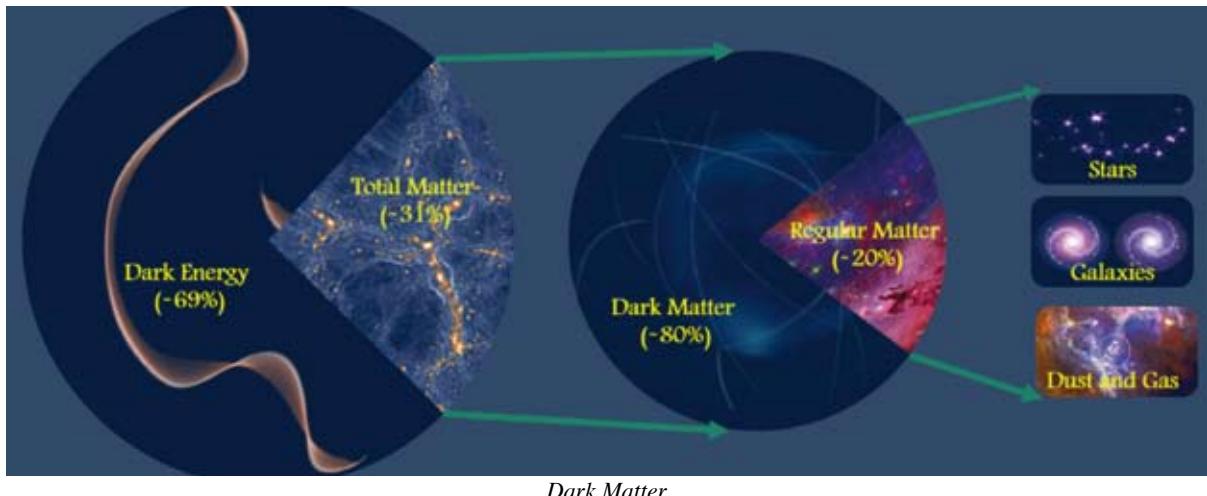


Cosmic ray shower

The muons reach the surface of the Earth with a flow of about 2 muons/cm²/second. At a depth of 800 meters, under Mount Tobazo, the cosmic ray flux is reduced by a factor of sixty thousand, which allows the search for very rare processes. In the framework of sub-atomic physics, we have a theoretical description of the elementary particles of matter and the basic forces of Nature, called the Standard Model (SM). All its predictions have been tested with increasing accuracy on the energies that are achievable with accelerators. Underground laboratories, such as the LSC, host experiments that provide scientific information that is complementary to that obtained by laboratories with accelerators. In fact, the first elements of physics beyond the standard model were obtained through underground experiments, such as the discovery of neutrino oscillations due to the change in flavour (family) of neutrinos between production and detection due to their different masses. The science being carried out in LSC underground laboratories is growing in interest worldwide. There is strong competition internationally with new

Los laboratorios subterráneos se dedican a la búsqueda de fenómenos, nucleares y subnucleares extremadamente inusuales. Dicha búsqueda necesita un ambiente de muy bajo fondo radioactivo. El ruido de fondo irreducible es debido a los rayos cósmicos, originado por los protones y otros núcleos cósmicos, al golpear los núcleos de nitrógeno u oxígeno en la capa alta de la atmósfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas, siendo muones y neutrinos las más penetrantes de tales partículas secundarias.

Los muones alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo de unos 2 muones/cm²/segundo. A 800 metros de profundidad, bajo el Monte Tobazo, el flujo de rayos cósmicos se reduce en un factor de sesenta mil, lo que permite la búsqueda de procesos muy poco probables. En el marco de la física subatómica, disponemos de una descripción teórica de las partículas elementales de la materia y las fuerzas básicas de la Naturaleza, denominada Modelo Estándar (MS). Se ha probado con creciente precisión todas sus predicciones en las energías que son alcanzables con los aceleradores. Laboratorios subterráneos, como el LSC, alojan experimentos que proporcionan información científica que es complementaria a aquella obtenida por laboratorios con aceleradores. De hecho, los primeros elementos de la física más allá del modelo estándar se obtuvieron mediante experimentos subterráneos, cómo son el descubrimiento de las oscilaciones de neutrinos debidas al cambio de sabor (de familia) de los neutrinos entre producción y detección debido a sus diferentes masas. La ciencia que se está llevando a cabo en laboratorios subterráneos LSC está creciendo en interés en todo el mundo. Existe una gran competencia a nivel internacional con nuevas propuestas de infraestructuras subterráneas. De entre ellas, las más relevantes en el contexto de ultra-baja radioactividad son la búsqueda de materia oscura, la búsqueda de la desintegración doble beta y la exploración de las condiciones de vida en bajo fondo radioactivo.



proposals for underground infrastructures. Among them, the most relevant in the context of ultra-low radioactivity are the search for dark matter, the search for double-beta decay and the exploration of living conditions in low radioactive background.

Only 16% of all matter in the Universe is visible, consisting of protons, neutrons (quarks up and down) and electrons in their various aggregations. The rest is called dark matter, which is needed to explain the dynamics of visible objects in the gravity fields generated by gravity on a cosmic scale. The nature of dark matter is among the major cutting-edge issues in science today. The LSC contributes to this international effort in the direct search for the interaction of dark matter with ultra-pure detectors. On the other hand, there are two experiments in operation at the LSC investigating the direct search for dark matter: ANAIS with NaI(Tl) scintillators, the most advanced international effort to verify the result of the Italian DAMA/LIBRA experiment, and ArDM with liquid argon, the largest double-phase argon detector in dark matter searches. The TREX-DM project, on the direct detection of dark matter with argon and neon in a high-pressure chamber, is being validated in Hall A. Additionally, the DAMIC prototype, for the characterisation of silicon activation in CCD-based detectors, and the babyIAXO-D1 prototype, for the characterisation of X-ray contamination, are being prepared at IFCA and UNIZAR/CEA

Únicamente el 16% de toda la materia que existe en el Universo es visible, formada por protones, neutrones (quarks arriba y abajo) y electrones en sus variadas agregaciones. El resto se denomina materia oscura, necesaria para explicar la dinámica de los objetos visibles en los campos de gravedad generados por ésta a escala cósmica. La naturaleza de la materia oscura se encuentra entre las principales cuestiones frontera de la ciencia actual. El LSC contribuye a este esfuerzo internacional en la búsqueda directa de la interacción de la materia oscura con detectores ultrapuros. Por otro lado, en el LSC hay dos experimentos en funcionamiento que investigan la búsqueda directa de materia oscura: ANAIS con centelleadores de NaI(Tl), el esfuerzo internacional más avanzado en verificar el resultado del experimento italiano DAMA/LIBRA y ArDM con argón líquido, el mayor detector de argón de doble fase en búsquedas de materia oscura. El proyecto TREX-DM, sobre la detección directa de la materia oscura con argón y neón en una cámara de alta presión, se está validando en el Hall A. Por otro lado, el prototipo DAMIC, para la caracterización de la activación del silicio en detectores basados en CCDs, y el prototipo babyIAXO-D1, para la caracterización de la contaminación en rayos X, se están preparando en el IFCA y en UNIZAR/CEA respectivamente, para posteriormente alojarlos en el LSC.

Hoy en día sabemos que los neutrinos tienen muy poca masa. Una explicación natural para

respectively, and will later be housed at the LSC.

Today we know that neutrinos have very little mass. A natural explanation for the tiny mass of the neutrino requires that the neutrino is a Majorana particle, which has the property of being its own antiparticle and of giving rise to reactions or disintegrations that do not conserve the number of leptons, with the necessary modification of the standard model of particle physics. The observation of neutrinoless double beta decay would demonstrate that neutrinos are Majorana particles and that the number of leptons is not preserved, a question related to the necessary matter-antimatter asymmetry observed in the Universe and not explained in the current conceptual framework. At the LSC these research activities are being carried out through various detectors built by international collaborations.

On the one hand, the NEXT-White (NEW) double beta decay experiment, a high pressure xenon detector based on a temporary electroluminescent projection chamber is taking data from 2018 in Hall A and has measured the double beta spectrum with neutrinos, proving the expected energy resolution and trace reconstruction specifications of the two electrons. In addition, the CROSS project for the search of neutrinoless double-beta decay with bolometers based on tellurium or molybdenum crystals is taking data in Hall B, with the aim of determining the best conditions to reduce the surface background noise of the crystals with the help of the scintillation signal. Both projects have received European funding with Advanced Grants from the ERC. The double beta decay of xenon-136 in the gas phase makes it possible to explore the possibility of detecting the barium cation produced. DIPC researchers, within the NEXT collaboration, have taken the first steps in this direction with the design, synthesis and demonstration of the optical properties of a new molecule sensitive to the capture of the barium cation. The proposal to convert this research into a detector has been awarded an ERC Synergy

el diminuto tamaño de la masa del neutrino requiere que el neutrino sea una partícula de Majorana, que tiene la propiedad de ser su propia antipartícula y de dar lugar a reacciones o desintegraciones que no conservan el número de leptones, con la necesaria modificación del modelo estándar de física de partículas. La observación de la desintegración doble beta sin neutrinos demostraría que los neutrinos son partículas de Majorana y que el número de leptones no se conserva, cuestión relacionada con la necesaria simetría materia-antimateria observada en el Universo y no explicada en el actual marco conceptual. En el LSC estas actividades de investigación se están llevando a cabo a través de diversos detectores construidos por colaboraciones internacionales.

Por un lado, el experimento de desintegración doble beta NEXT-White (NEW), un detector con xenón a alta presión basado en una cámara de proyección temporal electroluminiscente está tomando datos desde 2018 en el Hall A y ha medido el espectro doble beta con neutrinos, demostrando las especificaciones esperadas de resolución de la energía y reconstrucción de trazas de los dos electrones. Además, el proyecto CROSS para la búsqueda del decaimiento doble beta sin neutrinos con bolómetros basados en cristales de telurio o molibdeno está tomando datos en el Hall B, con el objetivo de determinar las mejores condiciones que reduzcan el ruido de fondo superficial de los cristales con ayuda de la señal de centelleo. Ambos proyectos han recibido financiación europea con sendas Advanced Grants de la ERC. La desintegración doble beta del xenón-136 en fase gas, permite explorar la posibilidad de detectar el catión de bario producido. Investigadores del DIPC, dentro de la colaboración NEXT, han dado los primeros pasos en esta dirección con el diseño, síntesis y demostración de las propiedades ópticas de una nueva molécula sensible a la captura del catión de bario. La propuesta de convertir estas investigaciones en un detector ha sido premiada con una Synergy Grant de la ERC. El LSC se ha beneficiado directamente

Grant. The LSC has benefited directly from this research and is building a device that can separate radium cation from samples in order to characterise the very low radioactivity of samples with the same technique.

de estas investigaciones y está construyendo un dispositivo que pueda separar catión de radio de muestras para poder caracterizar la muy baja radioactividad de muestras con la misma técnica.



Other scientific areas benefit from the unique location of the LSC's underground facilities. Amongst them, two of them have been initiated at the LSC during 2020. On the one hand, the expression of interest ARQ, proposes to install a cryogenic measurement station compatible with hosting qubits to characterise the influence of radiation on the entanglement lifetime.

Recent research shows that, for some types of qubits, radiation may become the major constraint slowing down the progress of fundamental units in the construction of quantum computers.

On the other hand the LSC, in collaboration with LNGS and SNOLab, is initiating a systematic exploration of the effects of low radioactivity on life. The reader will be familiar with studies on the damage of ionizing radiation to cells and organs, in particular to DNA. Extrapolation to the low radioactivity limit would seem to indicate, at first glance, that it benefits life. If so, it may surprise you that low radioactivity does not seem to benefit life processes, adapted to other conditions for billions of years. Preliminary experiments indicate that DNA repair mechanisms are slowed down, even stopped, when we grow replicas of bacteria,

Otras áreas científicas se benefician de la ubicación única de las instalaciones subterráneas del LSC. De entre ellas, dos se han iniciado en el año 2020 en el LSC. Por una parte, la expresión de interés ARQ, propone instalar una estación criogénica de medida compatible con alojar qubits para caracterizar la influencia de la radiación en la duración del entrelazamiento.

Recientes investigaciones muestran que, en algunos tipos de qubits, la radiación puede convertirse en la mayor limitación que frene el progreso de las unidades fundamentales en la construcción de los ordenadores cuánticos.

Por otra parte, en colaboración con LNGS y SNOLab, el LSC está iniciando una exploración sistemática de los efectos de la baja radioactividad en la vida. El lector estará familiarizado con los estudios sobre los daños de las radiaciones ionizantes en las células y órganos, en particular en el ADN. La extrapolación hacia el límite de baja radioactividad parecería indicar a primera vista, que beneficia a la vida. Si es así, quizás le sorprenda, que la baja radioactividad no parece beneficiar los procesos vitales, adaptados a otras condiciones por miles de millones de años. Experimentos preliminares indican que los mecanismos de reparación del ADN se ralentizan, incluso se detienen, cuando cultivamos réplicas de bacterias,

human cells or even organisms (fruit flies, ...) compared to their counterparts on the surface. Cells suffer oxidative stress, demonstrated in the laboratory with respect to their surface replicas. The nature of this adaptation to natural radioactivity is still unknown, and the impact of the different components (muons, neutrons, electrons, gamma) remains to be explored. In an analogous way to how our detectors see the cascade of particles and radiation generated by the interaction of an ionizing particle, such energetic cascades have a major impact on the cell. How this cascade degrades the energy in the cell to the energies of chemistry and biology is still an unknown area.

The location of the underground laboratories allows for the hosting of other types of detectors that benefit from seismic noise reduction. The LSC is equipped with a geophysical infrastructure, called GEODYN, which covers the entire geodynamic spectrum, from the closest seismicity, induced by the water dynamics of the mountain, to the tectonic deformations through the terrestrial tides or the nutation of the terrestrial core. This facility has three components: a seismic station equipped with a Titan accelerometer and a Trillium 240s seismometer, laser interferometers consisting of two 70 m long orthogonally oriented vacuum tubes, both underground, and an external GNSS station.

The LSC GEODYN observatory has been integrated into the EPOS (European Plate Observing System), which was approved by the ESFRI Roadmap in 2008.

The low and stable seismic noise inside the mountain allowed it to be selected as a candidate to host the future Einstein Telescope gravity wave detector

These big questions about us and our environment: What is most of the matter in the Universe?, how has the Universe generated matter without producing antimatter in the same amount?, how to reduce the impact of

células humanas o incluso organismos (mosca de la fruta, ...) frente a sus homólogos en superficie. Las células sufren estrés oxidativo, demostrado en el laboratorio respecto a sus réplicas en superficie. La naturaleza de esta adaptación a la radioactividad natural aún es desconocida, y el impacto de las diferentes componentes (muones, neutrones, electrones, gamma) está por explorar. De una manera análoga a como nuestros detectores ven la cascada de partículas y radiación generada por la interacción de una partícula ionizante, tales cascadas energéticas tienen un impacto importante en la célula. Cómo esta cascada, degrada la energía en la célula para llegar a las energías de la química y la biología, es aún un área desconocida.

La localización de los laboratorios subterráneos permite alojar otro tipo de detectores que se benefician de la reducción del ruido sísmico. El LSC está equipado con una infraestructura geofísica, denominada GEODYN, que cubre el espectro geodinámico en su totalidad, desde la sismicidad más cercana, inducidas por la dinámica hídrica de la montaña, a las deformaciones tectónicas pasando por las mareas terrestres o la nutación del núcleo terrestre. Esta instalación tiene tres componentes: una estación sísmica equipada con un acelerómetro Titán y un sismómetro Trillium 240s, interferómetros láser que consisten en dos tubos de 70 m de longitud al vacío orientados ortogonalmente, ambos bajo tierra, y una estación GNSS externa.

El observatorio LSC GEODYN ha sido integrado en el EPOS (European Plate Observing System), que fue aprobado por la Hoja de Ruta ESFRI en el 2008. El bajo y estable ruido sísmico dentro de la montaña permitió que fuera seleccionada como candidata para alojar el futuro detector de ondas gravitacionales Einstein Telescope.

Estas grandes preguntas sobre nosotros y nuestro entorno: ¿Qué es la mayoría de la materia del Universo?, ¿cómo ha generado el Universo la materia sin producir antimateria en la misma cantidad?, ¿Cómo reducir el impacto de la radiación en el tiempo de

radiation on qubit entanglement time? why does low radioactivity alter cellular life?, require equipment and technological support from laboratories and technology companies. Ultra-low background gamma spectrometers, mass spectrometers with sensitivity in ppq, Radon reduction systems and alpha detectors for very low-level Radon measurements (mBq/m^3), are among the technologies that the LSC develops and establishes collaboration with national and international technological companies. LSC is interested in developments associated with the improvement of the radio-purity of materials (acquisition of copper, lead, high purity polyethylene; production of ultra-pure copper by electroforming for the production of parts in 3D copper printers...) and of the techniques necessary for their characterization (ultra-low background Germanium detectors, Radon emanation detectors...). Among the emerging projects to be started during 2021: impact of radioactivity on quantum technologies, obtaining Xe-136 enriched xenon and improving its purity in radon, Radium detection with single molecule fluorescence imaging (with the recently invented new FIB molecule).

entrelazamiento de los qubits? ¿por qué altera la vida celular la baja radioactividad?, requieren de equipamiento y soporte tecnológico de laboratorios y empresas tecnológicas. Espectrómetros gamma de ultra-bajo fondo, espectrómetros de masas con sensibilidad en partes por cuatrillón, sistemas de reducción de Radón y detectores alfa para medidas de muy bajo nivel de Radón (mBq/m^3), se encuentran entre las tecnologías que el LSC desarrolla y establece colaboración con las empresas tecnológicas nacionales e internacionales. El LSC está interesado en desarrollos asociados a la mejora de la radio-pureza de los materiales (adquisición de cobre, plomo, polietileno de alta pureza; producción de cobre ultra-puro por electroformación para la producción de piezas en impresoras 3D de cobre, ...) y de las técnicas necesarias para su caracterización (detectores de Germanio de ultra-bajo fondo, detectores de emanación de radón...). Entre los proyectos emergentes que se comenzarán a desarrollar durante 2021: impacto de la radioactividad en las tecnologías cuánticas, obtención de xenón enriquecido en Xe-136 y mejora de su pureza en radón, detección de Radio con imagen por fluorescencia de molécula única (con la nueva molécula FIB recientemente inventada).



Radon Reduction System

Report Activities 2020

The work gathered during the first decade has led to the production of important scientific results. In the search for dark matter, ANAIS has presented scientific results on the affirmation of the existence of dark matter by the DAMA/LIBRA experiment placing it as the most advanced experiment in the validation or refutation of this important experimental result with more than three years of accumulated data. ArDM has completed its scientific activities, setting the record for the world's largest dual-phase TPC to date, and has reinvented itself to become DArT, an argon-39 trace detector, part of the constellation of the Global Argon Dark Matter Search Collaboration (GADMC).

Two other experiments, TREX-DM and the new Expression of Interest DAMIC, have devoted their efforts preparing experiments to detect dark matter with proton-like mass or lower. In double-beta decay, NEXT-White has proven that the two-electron identification technique at the energies of interest in double-beta decay is valid, with a resolution energy better than 1% at the end point of the double-beta decay of Xenon 136 and with a rejection factor between two-electron and single-electron events that allows 90% of the remaining background noise to be removed, with only a 10% decrease in the signal. This has led it to be selected as one of the three techniques selected for the 1 tonne scale by the APPEC commission on double beta decay and marks the beginning of the preparation of the facilities at the LSC to host and support the construction of a one tonne Xenon-enriched xenon 136 detector based on the NEXT technique.

Also, the CROSS experiment has installed a dilution cryostat and has taken the first measurements of the scintillator bolometer properties which will be the future detectors of the CUPID experiment. The BIPO experiment has met its objectives for the characterisation of radioactive contamination of thin films, part of the Super-Nemo experiment programme.

The laboratory has contributed in recent years to another major international neutrino project, SuperKGd, with the radioactive study of gadolinium salts added to the ultrapure water of the SK detector in Japan, and is coordinating

Actividad del LSC 2020

El trabajo acumulado en la primera década ha permitido la producción de importantes resultados científicos. En búsqueda de materia oscura, ANAIS ha presentado resultados científicos sobre la afirmación de la existencia de materia oscura por el experimento DAMA/LIBRA y le sitúan como el experimento más avanzado en la validación o refutación de este importante resultado experimental con más de tres años de datos acumulados. ArDM ha completado sus actividades científicas, estableciendo el record de la TPC de doble fase más grande del mundo en la actualidad y se ha reinventado para convertirse en DArT, un detector de trazas de argón-39, integrante de la constelación de la colaboración global de búsqueda de materia oscura con argón (GADMC).

Otros dos experimentos TREX-DM y la nueva expresión de interés DAMIC han dedicado sus esfuerzos en la preparación de experimentos de detección de materia oscura con masa similar al protón o menor. En desintegración doble beta, NEXT-White ha demostrado que la técnica de identificación de dos electrones a las energías de interés en desintegración doble beta es valida, con una energía de resolución mejor al 1% en el punto final de la desintegración doble beta del Xenon 136 y con un factor de rechazo entre sucesos de dos electrones y de un electrón que permite eliminar el 90% del ruido de fondo restante, con solo una merma del 10% de la señal. Esto le ha llevado a ser seleccionada como una de las tres técnicas seleccionadas para la escala de 1 tonelada por la comisión en desintegración doble beta de APPEC y marca el inicio de la preparación de las instalaciones en el LSC para alojar y apoyar la construcción de un detector de una tonelada de xenón enriquecido en Xenon 136, basado en la técnica de NEXT.

Además, el experimento CROSS ha instalado un criostato de dilución y ha tomado las primeras medidas de las propiedades de bolómetros centelleadores que serán los futuros detectores del experimento CUPID. El experimento BIPO ha cumplido sus objetivos de caracterización de contaminación radioactiva de láminas delgadas, parte del programa del experimento Super-Nemo.

the Spanish contribution to the construction of the international Hyper-Kamiokande experiment, which construction has officially started in February 2020.



Also, in recent years the laboratory has initiated technological collaborations with companies interested in technologies associated with the LSC's activities. On the one hand, with Mirion and Tecnasa, in the development of new ultra-low background Germanium detectors (Germanios by Mirion in Spain, GeMS). On the other hand, with ENUSA for the joint development of a utility study on the acquirement of added value materials used in nuclear reactors and other related projects such as the acquisition of isotopes of interest, the design of ventilation systems in caverns and gamma detection technologies of interest in the management of nuclear waste. In addition, ITA-INNOVA has carried out the electromagnetic characterisation of the underground facilities to identify the sources of conducted noise and radiated noise at low and medium frequencies, which allows the experiments to be housed in a safe and controlled electromagnetic noise environment.

After a decade of efforts, the laboratory is embarking on the path of hosting experiments in new areas of research and technological development. On the one hand, the LSC has started a programme of new cryogenic facilities (around 10 mK) to house experiments to understand the impact of cosmic rays and natural radioactivity on superconducting circuits, the basic units of quantum computing. The new EoI, radiation reduction in qubits (ARQ), promises important results in the study of the impact of radiation on these basic units.

Other proposals, to be housed in the future cryogenics facility, include the characterisation of superconducting materials with magnetic

El laboratorio ha contribuido en los últimos años a otro gran proyecto internacional en neutrinos, SuperKGd, con el estudio radioactivo de las sales de gadolinio añadidas al agua ultrapura del detector SK en Japón y coordina la contribución española a la construcción del experimento internacional Hyper-Kamiokande, cuya construcción se ha iniciado oficialmente en febrero del 2020.

Por otra parte, el laboratorio ha iniciado en estos últimos años colaboraciones tecnológicas con empresas interesadas en tecnologías asociadas a las actividades del LSC. Por un lado, con Mirion y Tecnasa, en el desarrollo de nuevos detectores de Germanio de ultra-najo fondo (Germanios por Mirion en España, GeMS). Por otra parte, con ENUSA para el desarrollo conjunto de un estudio de utilidad sobre la obtención de materias de valor añadido gastado en reactores nucleares y otros proyectos relacionados como son la adquisición de isótopos de interés, diseño de sistemas de ventilación en cavernas y tecnologías de detección gamma de interés en la gestión de los residuos nucleares. Además, ITA-INNOVA ha realizado la caracterización electromagnética de las instalaciones subterráneas para identificar las fuentes de ruido conducido y ruido radiado en baja y media frecuencia, que permite alojar los experimentos en un entorno seguro y controlado de ruido electromagnético.

Tras una década de esfuerzos, el laboratorio inicia el camino de alojar experimentos en nuevas áreas de investigación y desarrollo tecnológico. Por un lado, el LSC ha iniciado un programa de nuevas instalaciones en criogenia (alrededor de 10 mK) para alojar experimentos que permitan entender el impacto de los rayos cósmicos y la radioactividad natural en los circuitos superconductores, unidades básicas de la computación cuántica. La nueva EoI reducción de radiación en qubits (ARQ), promete importantes resultados en el estudio del impacto de la radiación sobre estas unidades básicas.

Otras propuestas, a alojar en la futura instalación de criogenia, incluyen la caracterización de materiales superconductores con propiedades magnéticas o la búsqueda de materia oscura (si son axiones con masas que explican el denominado problema de la CP fuerte) con altos campos magnéticos en cavidades resonantes.

properties or the search for dark matter (if they are axions with masses that explain the so-called strong CP problem) with high magnetic fields in resonant cavities. Connected to this problem, a new experiment has been approved that will characterise the X-ray background for materials to be used in the babyIAXO experiment, which searches for axions produced on the Sun. On the other hand, the LSC has initiated a programme of new facilities in biology to host experiments in low cosmic background and to unravel the cellular mechanisms that have adapted to cosmic radiation and that explain the preliminary results observed, increase of oxidative stress species and suppression of DNA repair mechanisms, when hosted in low radiation environments. Several proposals are in the pipeline, while the laboratory is preparing the facilities and equipment to house them.

The LSC has embarked on the path to strengthen the human resources that support the experiments and initiatives at the LSC. Both the programme to attract scientific and technical personnel from other institutions, long-term residents at the LSC, and the competition to attract talent in regional, national and European calls promise to increase the LSC's capacity to tackle large projects, low radioactive background techniques and the new strategic lines of this decade.

Conectado con este problema, se ha aprobado un nuevo experimento que caracterizará el fondo en rayos X para los materiales que se usarán en el experimento babyIAXO, que busca axiones producidos en el Sol. Por otro lado, el LSC ha iniciado un programa de nuevas instalaciones en biología para alojar experimentos en bajo fondo cósmico y desentrañar los mecanismos celulares que se han adaptado a la radiación cósmica y que permiten explicar los resultados preliminares observados, aumento de especies de estrés oxidativo y supresión de mecanismos de reparación del ADN, cuando se aloja en ambientes de baja radiación. Varias propuestas están en proceso de elaboración, mientras el laboratorio está preparando las instalaciones y el equipamiento para alojarlas.

El LSC ha iniciado el camino para fortalecer los recursos humanos que dan soporte a los experimentos e iniciativas en el LSC. Tanto el programa de atracción de personal científico y técnico de otras instituciones, residente de larga duración en el LSC, como la competición por atraer talento en convocatorias autonómicas, nacionales y europeas prometen aumentar la capacidad del LSC para afrontar los grandes proyectos, las técnicas de bajo fondo radioactivo y las nuevas líneas estratégicas de esta década.



Hall A

Outreach / Divulgación 2020

In a year characterised by the global pandemic, the LSC participated in the following events:

En un año marcado por la pandemia mundial el LSC participó en los siguientes eventos:



Researchers from CAPA (UNIZAR) held an Astroparticle Marathon at the Planetarium of Aragon, Huesca, in which the director of the LSC, Carlos Peña Garay, gave a talk on "What is being researched at the LSC". In addition, members of the LSC staff offered a cosmic ray workshop as part of the activities aimed at ESO and Bachillerato students.

Astroparticle Marathon 2020 Maratón de Astropartículas 2020

February/Febrero 2020

Investigadores del CAPA (UNIZAR) celebraron en el Planetario de Aragón, Huesca, un Maratón de Astropartículas en el cual el director del LSC, dio la charla “¿Qué se investiga en el LSC?”. Además, miembros del personal del LSC ofrecieron un taller de rayos cósmicos dentro del marco de las actividades dirigidas a estudiantes de la ESO y Bachillerato.

Transfiere 2020

February/Febrero 2020



The LSC participated for the first time in person in this event to present the services developed in our laboratory, sharing a stand with 7 other ICTS that attended the event to promote the ICTS brand.

El LSC participó por primera vez de manera presencial en este evento para presentar los servicios que se desarrollan en nuestro laboratorio, compartiendo un stand con otras 7 ICTS que asistieron al mismo para promocionar la marca ICTS.



Visit of the Councillor

for Science, University and Knowledge Society to the LSC

Visita de la Consejera

de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento al LSC

The Councillor for Science, University and Knowledge Society, Maru Díaz, visited the LSC facilities on Thursday 15th October 2020.

La consejera de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento, Maru Díaz, visitó el jueves 15 de octubre las instalaciones del LSC.

CONCURSO DIPC-LSC



Puedes presentar tu texto hasta el 22 de noviembre a las 14:00
Envíalo a ciencia@jotdown.es



Puedes consultar las bases en:
<https://ciencia.jotdown.es>



DOS PREMIOS DE 1000€



Premio concurso DIPC-LSC 2020 Modalidad Divulgación Científica

<https://www.jotdown.es/2020/12/cefeidas-en-mi-bemol-mayor/>

Premio concurso DIPC-LSC 2020 Modalidad Ficción Científica

<https://www.jotdown.es/2020/12/el-jardin/>

Organised by the cultural magazine Jotdown, the DIPC-LSC science dissemination competition allows entries to be submitted for both science dissemination and narrative works in which science plays a leading role.

Organizado por la revista cultural Jotdown, el concurso DIPC-LSC de divulgación de la ciencia permite presentarse con trabajos tanto de divulgación científica como de narrativa en la que la ciencia juegue un papel protagonista.

News & Snapshots / Noticias y Capturas

May / Mayo 2020

The US Food and Drug Administration (FDA) approved MVM ventilators, developed by a consortium of laboratories and universities in which LSC participates, for use in patients affected by COVID-19.



La agencia del medicamento estadounidense (FDA) autorizó los ventiladores MVM, desarrollados por un consorcio de laboratorios y universidades el que participa el LSC, para su uso en pacientes afectados por el COVID-19.

August
Agosto
2020

Master Programme in
Physics of the Universe:
Cosmology,
Astrophysics, Particles and
Astroparticles

Main research lines involved in the title

- Direct detection of Dark Matter
- Modulation of dark matter in galaxies
- Axion physics theory and detection
- Neutrino physics: double beta decay and neutrino mass
- Radiactivity and low background techniques
- New particle detector development
- Gauge theories in the lattice
- Field theory applications to quantum information and topological materials
- Standard Model phenomenology and new physics beyond the SM.
- Theory and phenomenology of quantum gravity
- Cosmology and Galaxy evolution

Information kuzmich@unizar.es



The University Quality and Prospective Agency of Aragón approves the Master in Physics of the Universe promoted by the CAPA, the Centre for the Study of the Physics of the Cosmos of Aragón and the LSC.

La Agencia de Calidad y Prospectiva Universitaria de Aragón aprueba el Máster en Física del Universo promovido por el CAPA, el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón y el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

ANALIS

There is overwhelming evidence from cosmological and astrophysical observations supporting the existence of dark matter (DM). Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) are among the better motivated candidates to explain DM, which could be detected in direct, indirect or accelerator searches, complementary to each other. Only one experiment, DAMA/LIBRA, has provided a long-standing positive result: the observation of a highly statistically significant annual modulation in the detection rate, compatible with that expected for galactic halo dark matter particles. This result has neither been reproduced by any other experiment, nor ruled out in a model independent way. Compatibility among the different experimental results in most conventional WIMP-DM scenarios is actually disfavoured. Then, a similar annual modulation search using the same target is mandatory to shed light on the DAMA/LIBRA conundrum, which is the goal of the ANAIS (Annual modulation with NaI Scintillators) experiment.



An annual modulation in the dark matter interaction rate is expected by the revolution of the Earth around the Sun, which distorts the DM particle velocity distribution function as seen by the detector, typically assumed Maxwellian boosted by the Sun velocity. The effect is present unless the DM halo is co-rotating with the Solar System. However, it is strongly dependent on the specific halo model, both in amplitude and in phase. It is natural to assume that the Sun is moving through a locally isotropic DM halo, with the Earth orbiting aside. Consequently, searches are performed for a modulation of DM-like events with a period of one year and a well-defined phase.

Una evidencia abrumadora de observaciones cosmológicas y astrofísicas respaldan la existencia de materia oscura (DM). Las partículas masivas con interacción débil (WIMP) son uno de los candidatos mejor motivados para explicar la DM, y podrían detectarse en búsquedas directas, indirectas o en aceleradores, técnicas de detección complementarias entre sí. Únicamente el detector DAMA/LIBRA, ha proporcionado un resultado positivo: la observación de una modulación anual significativa en la tasa de detección, compatible con la señal esperada para las partículas de materia oscura en el halo galáctico. Este resultado no ha sido reproducido por ningún otro experimento, ni descartado con un análisis independiente de modelo. La compatibilidad entre los diferentes resultados experimentales en la mayoría de los escenarios WIMP-DM convencionales está desfavorecido. Así, una búsqueda de modulación anual similar usando el mismo objetivo es necesaria para resolver el enigma DAMA / LIBRA, que es el objetivo del experimento de Modulación Anual con Centelleadores de NaI (ANAIS).

Se espera una modulación anual en la tasa de interacción de la materia oscura por la traslación de la Tierra alrededor del Sol, que distorsiona la función de distribución de velocidad de partículas de DM tal como la ve el detector, una distribución Maxwelliana de velocidades incrementada por la velocidad del Sol. El efecto está presente a menos que el halo DM rote solidariamente con el Sistema Solar. Sin embargo, depende en gran medida del modelo de halo específico, tanto en amplitud como en fase. La hipótesis más simple es suponer que el Sol se mueve a través de un halo de DM localmente isotrópico, con la Tierra en órbita y se realizan búsquedas para una modulación de la señal debida a DM con un período de un año y una fase bien definida. Un análisis completo y consistente requiere varios años de medidas en condiciones muy estables. Este es el objetivo a largo plazo de nuestro experimento. ANAIS-112, que consta de 112,5 kg de detectores de NaI (TI), se instaló en 2017 en el Laboratorio Subterráneo Canfranc (LSC).

ANAIS-112 recibe un flujo de rayos cósmicos residuales y condiciones ambientales diferentes a las de DAMA / LIBRA (800 m frente a una sobrecarga de roca de 1400 m, por ejemplo). En

A full and consistent analysis requires then several years of measurement in very stable conditions. This is the long-term goal of our experiment. ANAIS-112, consisting of 112.5 kg of NaI(Tl) detectors, was installed in 2017 at the Canfranc Underground Laboratory (LSC) in Spain. The ANAIS-112 set-up undergoes a different residual cosmic ray flux and environmental conditions than DAMA/LIBRA (800 m versus 1400 m rock overburden, for instance). Consequently, the potential confirmation of a modulation with same phase and amplitude would be very difficultly explained as an effect of backgrounds or systematics.

We briefly summarize here the most relevant features of the experimental apparatus. ANAIS-112 uses nine NaI(Tl) modules produced by Alpha Spectra Inc. in Colorado. These modules have been manufactured from 2012 to 2017, and shipped to Spain avoiding air travel in order to prevent cosmogenic activation of the module materials. Each crystal is cylindrical (4.75" diameter and 11.75" length), with a mass of 12.5 kg, and it is housed in OFE (Oxygen Free Electronic) copper. This encapsulation has a Mylar window allowing low energy calibration using external gamma sources. It incorporates two quartz optical windows to couple the photomultiplier tubes (PMTs). All PMT units and all relevant materials used in the building of the detectors, have been screened for radiopurity using HPGe detectors in the low background facilities at LSC. Their contribution to the experiment background has been estimated and included in our background model. Our modules show an outstanding light collection, at the level of 15 photoelectrons (phe) per keV.

ANAIS-112 is calibrated every two weeks using external ^{109}Cd sources: all the nine modules are simultaneously calibrated using a multi-source system which minimizes down time periods. Background events from the decay of ^{40}K and ^{22}Na in the crystal bulk, associated to 3.2 and 0.9 keV energy depositions, and selected by coincidence with an energy deposition in a second module of 1461 and 1275 keV, respectively, are also used to improve the accuracy of the calibration down to the energy threshold.

The ANAIS-112 shielding consists of 10 cm of archaeological lead, 20 cm of low activity lead,

consecuencia, la confirmación potencial de una modulación con la misma fase y amplitud se explicaría muy difícilmente por el fondo o errores sistemáticos.

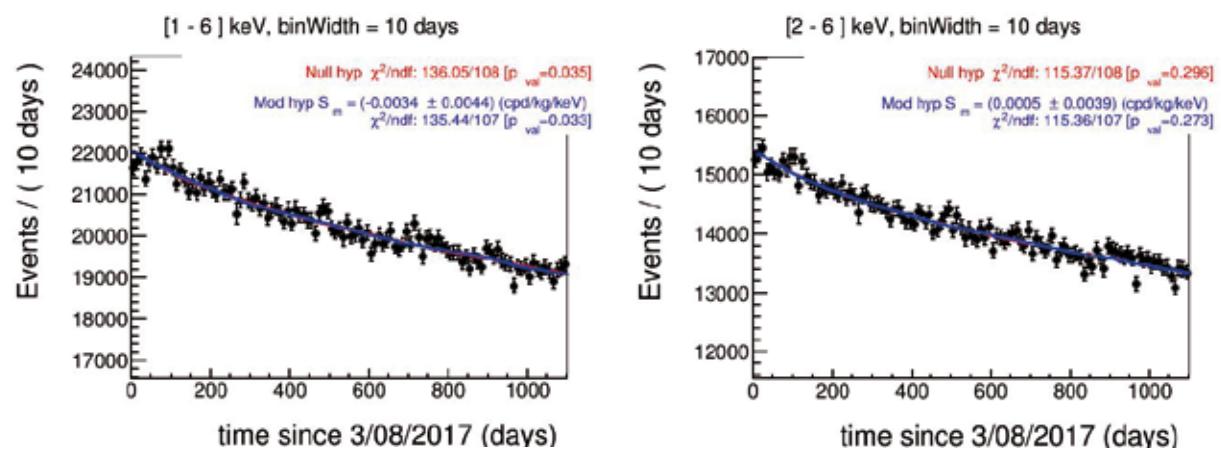
Resumimos aquí las características más relevantes del experimento. ANAIS-112 utiliza nueve módulos NaI (Tl) producidos por Alpha Spectra Inc. en Colorado. Estos módulos se fabricaron entre 2012 y 2017 y se trajeron a España evitando los viajes aéreos con el objetivo de reducir la activación cosmogénica de los materiales del módulo. Cada cristal es cilíndrico (4.75" de diámetro y 11.75" de largo), con una masa de 12.5 kg, y está alojado en una cápsula de cobre libre de oxígeno (OFE). Esta encapsulación tiene una ventana tipo Mylar para calibración de baja energía con fuentes gamma externas. Incorpora dos ventanas ópticas de cuarzo para acoplar los tubos fotomultiplicadores (PMT). Todos los PMT y materiales relevantes utilizados en la construcción de los detectores han sido caracterizados radioactivamente en las instalaciones de bajo fondo en LSC. Su contribución al fondo del experimento se ha incluido en nuestro modelo de fondo. Nuestros módulos muestran un excelente nivel de 15 fotoelectrones (phe) por keV. ANAIS-112 se calibra cada dos semanas usando fuentes externas de ^{109}Cd : los nueve módulos se calibran simultáneamente usando un sistema de múltiples fuentes. Los eventos de fondo de la desintegración de ^{40}K y ^{22}Na en la masa de cristal, asociados a depósitos de energía de 3.2 y 0.9 keV, y seleccionados por coincidencia con un depósito de energía en un segundo módulo de 1461 y 1275 keV, respectivamente, también se utilizan para mejorar la precisión de la calibración hasta el umbral de energía.



El blindaje ANAIS-112 consta de 10 cm de plomo arqueológico, 20 cm de plomo de baja actividad,

anti-radon box (continuously flushed with radon-free nitrogen gas), active muon veto system made up of 16 plastic scintillators designed to cover top and sides of the whole ANAIS set-up and 40 cm of neutron moderator (a combination of water tanks and polyethylene blocks). In the design of the muon veto system we followed a tagging strategy instead of a hardware vetoing. The goal was twofold: on the one hand, to discard events in the NaI(Tl) crystals coincident with muon veto triggers. On the other hand, to analyse eventual correlations between muon hits in the plastic scintillators and events in the NaI(Tl) crystals, especially in the region of interest (ROI), of 1-6 keV.

The ANAIS-112 electronic chain and data acquisition system (DAQ) is shortly described here. Each PMT charge signal is independently processed and divided into: (1) a trigger signal; (2) a low energy (LE) signal that goes to the digitizers which sample the waveforms at 2 Gs/s with high resolution (14 bits); and (3) a high energy (HE) signal, conveniently attenuated. The trigger of each PMT signal is done at phe level, while the single module trigger is done by the coincidence (logical AND) of the two PMT triggers in a 200 ns window. The global trigger is the logical OR of the nine modules trigger signals. Trigger efficiency is close to 100% down to the analysis threshold established at 1 keV.

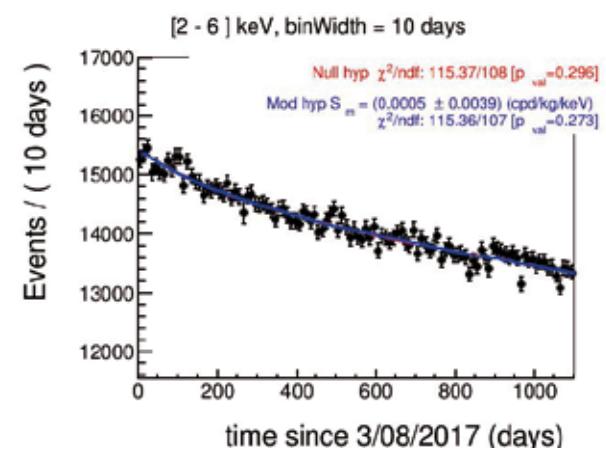


Results of the fit to the simulated background evolution using ROOFIT for the two analyzed ROI: from 1 to 6 keV, and from 2 to 6 keV.

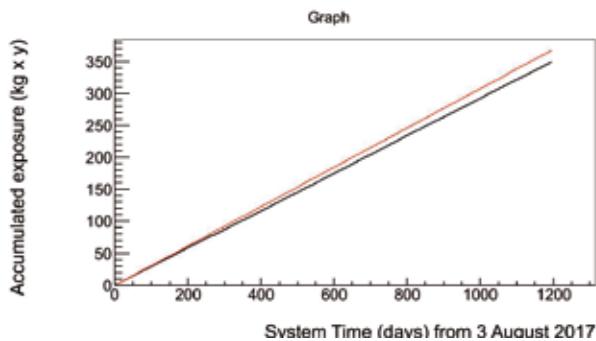
ANAIS-112 started taking data in the DM mode on August 3rd, 2017. It has accumulated more than three years of data-taking time in quite stable

caja anti-radón (continuo flujo de gas nitrógeno sin radón), sistema de veto de muones compuesto por 16 centelleadores de plástico que cubren la parte superior y los lados de toda la configuración de ANAIS y 40 cm de moderador de neutrones (una combinación de tanques de agua y bloques de polietileno). En el diseño del sistema de veto de muones, seguimos una estrategia de identificación en lugar de un veto por hardware. El objetivo es doble: descartar eventos en los cristales de NaI (Tl) que coinciden con los debidos a los muones vetados y analizar correlaciones eventuales entre los muones y los eventos en los cristales de NaI (Tl), especialmente en la región de interés (ROI), de 1-6 keV.

La electrónica y el sistema de adquisición de datos (DAQ) se describen brevemente aquí. Cada señal de carga del PMT se procesa independientemente y se divide en: (1) señal de activación; (2) señal de baja energía (LE) que va a los digitalizadores que muestran las formas de onda con alta resolución a 2 Gs/s (14 bits); y (3) una señal de alta energía (HE) atenuada. El disparador de cada señal del PMT se realiza a nivel de phe, mientras que el disparador de módulo único se realiza por coincidencia (AND lógico) de los dos disparadores PMT en una ventana de 200 ns. El activador global es el OR lógico de las señales de activación de los nueve módulos. La eficiencia de activación es cercana al 100% hasta el umbral de análisis a 1 keV.



ANAIS-112 comenzó a tomar datos en el modo DM el 3 de agosto de 2017. Ha acumulado más de tres años de toma de datos en condiciones bastante estables: 1.050 días de tiempo vivo en



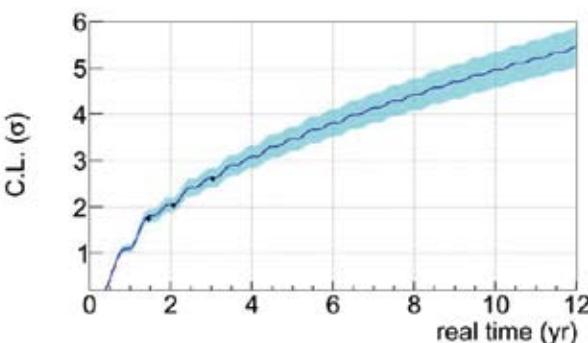
Accumulated exposure (in kg x y) for the ANAIS-112 data taking from 3 August 2017 until 12 November 2020 in black. Red line corresponds to a 100% live time.

conditions: 1050 days live time raw which, after the muon cut, correspond to an effective live time of 1018.6 days or 313.95 kg.day. The data analysis was extended by fitting simultaneously the 9 detectors with free background parameters for every module and the same modulation amplitude. It was also improved the background description, by fitting the measured rates to a probability density function (PDF) sampled from our background model, instead of just assuming an exponential decrease.

The ANAIS results are compatible with no annual modulation, with a statistical analysis refuting the DAMA/LIBRA positive results at more than 99% confidence level. The best fit to the ANAIS data in the [1-6] keV ([2-6] keV) energy region is a modulation amplitude of -0.0034 ± 0.0042 cpd/kg/keV (0.0003 ± 0.0037 cpd/kg/keV), supporting the absence of modulation, and refuting the DAMA/LIBRA result at 3.3 (2.6) σ , for a sensitivity of 2.5 (2.7) σ . Other complementary analyses confirm the absence of modulation in the ANAIS data: a phase-free annual modulation search and the exploration of the possible presence of a periodic signal at other frequencies. In conclusion, data confirm the ANAIS-112 projected sensitivity to the DAMA/LIBRA result. A 3σ sensitivity should be in reach before completing the scheduled 5 years of data taking. Further ANAIS tests to narrow down the causes of the DAMA/LIBRA modulation are ongoing, including the measurement of modulated signals as the neutron background and the time dependence of the background-subtraction methods.

bruto que, tras el corte de muones, corresponden a un tiempo vivo efectivo de 1.018,6 días o 313,95 kg.día. El análisis de los datos se amplió ajustando simultáneamente los 9 detectores con parámetros de fondo libres para cada módulo y la misma amplitud de modulación. También se mejoró la descripción del fondo, ajustando las tasas medidas a una función de densidad de probabilidad (PDF) muestreada a partir de nuestro modelo de fondo, en lugar de suponer simplemente una disminución exponencial.

Los resultados de ANAIS son compatibles con la ausencia de modulación anual, con un análisis estadístico que refuta los resultados positivos de DAMA/LIBRA con un nivel de confianza superior al 99%. El mejor ajuste a los datos de ANAIS en la región de energía de [1-6] keV ([2-6] keV) es una amplitud de modulación de -0.0034 ± 0.0042 cpd/kg/keV (0.0003 ± 0.0037 cpd/kg/keV), lo que apoya la ausencia de modulación y refuta el resultado de DAMA/LIBRA en 3.3 (2.6) σ , para una sensibilidad de 2.5 (2.7) σ . Otros análisis complementarios confirman la ausencia de modulación en los datos de ANAIS: una búsqueda de modulación anual sin fase y la exploración de la posible presencia de una señal periódica en otras frecuencias. En conclusión, los datos confirman la sensibilidad proyectada de ANAIS-112 respecto al resultado de DAMA/LIBRA. Se debería alcanzar una sensibilidad de 3σ antes de completar los 5 años previstos de toma de datos. Están en curso otras pruebas de ANAIS para acotar las causas de la modulación DAMA/LIBRA, incluyendo la medición de las señales moduladas como fondo de neutrones y la dependencia temporal de los métodos de sustracción del fondo.



ANAIS-112 sensitivity to the DAMA/LIBRA signal in σ C.L. units as a function of real time in the [2-6] keV energy region. The black dots are the sensitivities derived from the different analysis carried out. The blue bands represent the 68% C.L. DAMA/LIBRA uncertainty.

CROSS

The goal of the Cryogenic Rare-event Observatory with Surface Sensitivity (CROSS) is the development of a technology capable of investigating lepton number violation and the nature of neutrino with unprecedented sensitivity, by searching for neutrinoless double beta decay ($0\nu2\beta$) of two promising isotopes (^{100}Mo and ^{130}Te) with the bolometric approach. The CROSS key idea is to provide the bolometric detection technique – ideally tailored to the study of this rare nuclear transition as it features high energy resolution, large efficiency and wide flexibility in the detector material choice – with an additional decisive characteristic: an effective pulse-shape-discrimination (PSD) capability, enabling the rejection of events from surface radioactive impurities and other background-inducing phenomena. This new detector property will pave the way to bolometric experiments with background levels so low – less than 0.5 counts/y in one tonne of isotope in the region of interest (ROI) – to make possible future large searches penetrating in prospects the direct-ordering region of the neutrino masses.

The CROSS ERC Advanced Grant project started officially on January 1st, 2018. In the first eleven months, the collaboration made important progresses concerning most of the activity branches, closely following the CROSS program. However, two major events occurred outside CROSS, though strictly related to it, which will influence strongly future developments: a) detection of a residual contamination of ^{232}Th in the CUORE cryostat, whose location is still under investigation, which contributes to the background almost only for ^{130}Te , due to the lower Q-value of this isotope. b) the CUPID collaboration decided to fix the baseline for CUPID, the proposed follow-up of CUORE exploiting the same cryogenic infrastructure. This baseline foresees the study of the nuclide ^{100}Mo embedded in Li_2MoO_4 enriched crystals, one of the two isotopes studied in CROSS.

During 2020, the collaboration performed underground tests with twelve Li_2MoO_4 scintillating bolometers and with four laterally Al-coated crystals, a mixed CROSS/CUPID test, the second one after the test performed in Gran Sasso in 2019-2020. Mechanical and thermal

El objetivo del Observatorio criogénico de eventos raros con detección superficial (CROSS) es el desarrollo de una tecnología capaz de investigar la violación del número leptónico y la naturaleza del neutrino con una sensibilidad sin precedentes, mediante la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos ($0\nu2\beta$) de dos isótopos prometedores (^{100}Mo y ^{130}Te) con la técnica bolométrica. La idea clave de CROSS es proporcionar a la técnica de detección, idealmente diseñada para el estudio de esta rara transición nuclear, ya que presenta alta resolución energética, gran eficiencia y amplia flexibilidad en la elección del material del detector, con una característica decisiva adicional: la capacidad de discriminación de la forma del pulso (PSD), que permite el rechazo de eventos de impurezas radiactivas de superficie y otros fenómenos generadores de fondo. Esta nueva propiedad podrá permitir el desarrollo de experimentos bolométricos con niveles de fondo tan bajos - menos de 0.5 eventos/año en 1 tonelada de isótopo en la región de interés (ROI) - para hacer posibles las futuras búsquedas de la señal producida en la región de las masas de neutrinos con ordenación normal.



El proyecto CROSS financiado con una ERC Advanced Grant comenzó oficialmente el 1 de enero de 2018. En el primer año, se han hecho progresos importantes en la mayoría de áreas del programa CROSS. Sin embargo, dos importantes sucesos externos a CROSS, estrictamente relacionados con él, han influido en los desarrollos futuros de CROSS: a) detección de una contaminación residual de ^{232}Th en el criostato CUORE, cuya ubicación aún está bajo investigación, lo que contribuye al fondo casi solo para ^{130}Te , debido al menor valor Q de este isótopo. b) la colaboración de CUPID decidió fijar la línea de base para CUPID, el seguimiento propuesto de CUORE que explota la misma infraestructura

coupling was improved in September 2020 and new cooling down started on September 23rd. Background measurement will start at mid-December. Several channels are affected by a high microphonic noise level. In addition, a disturbing noise peak at 11 Hz, in full signal bandwidth, is present in all channels with different degrees of disturbances. It is suspected that the microphonic noise is due both to the detector holder structure and the system of suspension of the tower for the mechanical, so the collaboration will use a new holder structure (already under design at Orsay, where the prototype will be tested above ground in January 2021) and will improve the suspension system.

In addition, the CROSS facility was partially upgraded in terms of lead shield. Above ground, team members have performed four runs with Pd-Al-coated bolometers to achieve the desired pulse shape discrimination, which validate the protocol for surface sensitivity in CROSS, to be applied to large crystals. The test with the LMO detector coated (on one face only) with a Pd-Al bilayer gave excellent results. It was confirmed that the sensitivity obtained is, within the uncertainties, of the order of that of a bare crystal thanks to the super-conductivity of the bilayer, while it was reduced down to a factor 2 with pure Pd. The results obtained with one-face-covered grid detector confirmed excellent performance of the continuous film in terms of surface rejection (both α and β). The achieved sensitivity, of the order of 50 nV/keV, is equivalent to that of a bare crystal. For the future actions, the collaboration has finally established the protocol of using Pd-Al bi-layers grids, and they will move to coating final-size 45 \times 45 \times 45 mm crystals.



criogénica. Esta línea de base prevé el estudio del núcleo ^{100}Mo incrustado en cristales enriquecidos con Li₂MoO₄, uno de los dos isótopos estudiados en CROSS.

Durante 2020, la colaboración realizó pruebas subterráneas con doce bolómetros de centelleo de Li₂MoO₄ y con cuatro cristales recubiertos lateralmente de Al, una prueba mixta CROSS/CUPID, la segunda después de la prueba realizada en Gran Sasso en 2019-2020. El acoplamiento mecánico y térmico se mejoró en septiembre de 2020 y el nuevo enfriamiento comenzó el 23 de septiembre. La medición de fondo comenzará a mediados de diciembre. Varios canales están afectados por un alto nivel de ruido microfónico. Además, un pico de ruido perturbador a 11 Hz, en todo el ancho de banda de la señal, está presente en todos los canales con diferentes grados de perturbación. Se sospecha que el ruido microfónico se debe tanto a la estructura del soporte del detector como al sistema de suspensión de la torre para la mecánica, por lo que la colaboración utilizará una nueva estructura de soporte (que ya se está diseñando en Orsay, donde el prototipo se probará sobre el terreno en enero de 2021) y mejorará el sistema de suspensión.

Además, la instalación de CROSS fue parcialmente mejorada en términos de blindaje de plomo. En la superficie, los miembros del equipo han realizado cuatro runs con bolómetros recubiertos de Pd-Al para lograr la discriminación deseada de la forma del pulso, que validan el protocolo de sensibilidad de superficie en CROSS, para aplicarlo a cristales grandes. La prueba con el detector LMO recubierto (en una sola cara) con una bicapa de Pd-Al dio excelentes resultados. Se confirmó que la sensibilidad obtenida es, dentro de las incertidumbres, del orden de la de un cristal desnudo gracias a la superconductividad de la bicapa, mientras que se redujo a un factor 2 con el Pd puro. Los resultados obtenidos con el detector de rejilla de una sola cara confirmaron el excelente rendimiento de la película continua en términos de rechazo superficial (tanto α como β). La sensibilidad alcanzada, del orden de 50 nV/keV, es equivalente a la de un cristal desnudo. Para las acciones futuras, la colaboración ha establecido finalmente el protocolo de uso de rejillas de bicapas de Pd-Al, y pasará a recubrir cristales de tamaño final 45 \times 45 \times 45 mm.

DArT in ArDM

Argon Dark Matter (ArDM) was a direct dark matter experiment for Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) searches. The ArDM detector was designed as a tonne-scale dual-phase liquid-argon time projection chamber (LAr TPC) to detect elastic scattering of WIMPs on argon nuclei, by observing ionisation and scintillation events, which are produced by the recoiling nucleus in the argon medium. The ArDM experiment consisted of a cylindrical TPC installed in a LAr dewar of 1 m diameter. The detector active volume was confined by an optical surface made of high-reflectivity Polytetrafluoroethylene (PTFE) foils to collect as many photons as possible. The PTFE reflectors were coated with a thin layer of a wavelength shifter (WLS), to convert the argon scintillation VUV light to a range of maximal sensitivity of the photomultiplier tubes (PMTs). The physics results of ArDM have been discussed in previous years and are also presented in the decadal summaries in this number.

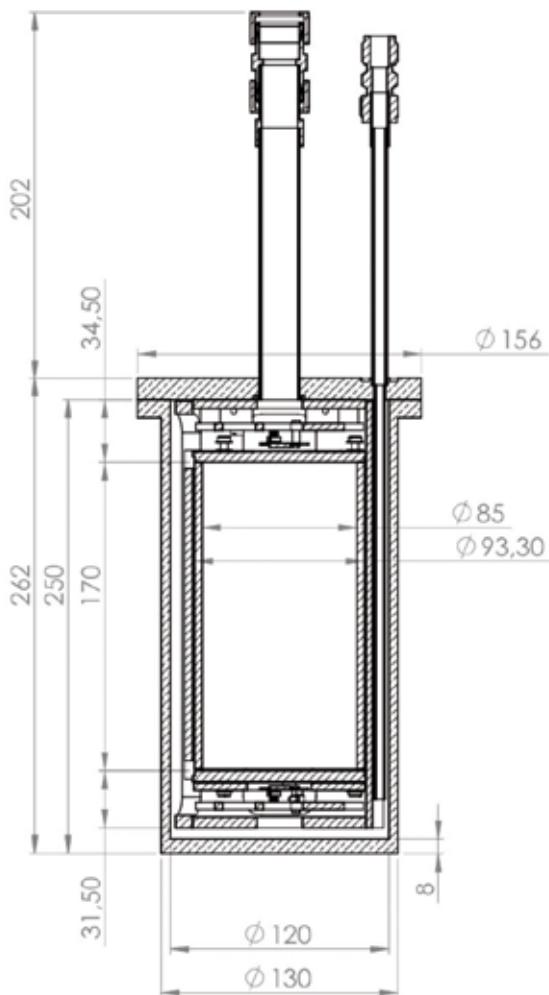
DArT at ArDM is a proof-of-concept for a facility to determine the radio-purity of argon with high precision. The goal is to measure the intrinsic contamination by ^{39}Ar and ^{85}Kr , of argon samples purified at the distillation column (Aria), and/or recuperated from the CO₂ gas well (Urania) of the Kinder-Morgan plant, Colorado (USA). In a first phase, DArT plans to operate a small single-phase LAr chamber of about 1 liter volume inside ArDM at LSC. For this purpose, the ArDM detector will run in the single-phase operational mode as an active veto for internal and external backgrounds. The collaboration decided to build a new single-phase setup with two sets of each 6 low background PMTs in the top and in the bottom, of the same type as presently used in ArDM. This allows for a dedicated and optimised setup for DArT, which can be easily swapped with the installed dual phase setup. The dual phase setup can be re-used later for measurements with highest sensitivities where a large detector volume is needed, once depleted argon is available in large quantities.

In 2020, the activity of the collaboration was strongly influenced by the COVID-19 pandemic.

Materia Oscura con Argón (ArDM) es un experimento de búsqueda de partículas masivas con interacción débil (WIMP). El detector ArDM consiste en una cámara de proyección temporal de argón líquido de doble fase de una tonelada (LAr TPC) para detectar la dispersión elástica de WIMP en los núcleos de argón, al observar los eventos de ionización y centelleo, que se producen por el retroceso del núcleo en el medio de argón. ArDM consiste en una TPC cilíndrica instalada en un recipiente de LAr de 1 m de diámetro. El volumen activo del detector está recubierto por una superficie construida con láminas de politetrafluoroetileno (PTFE) de alta reflectividad para recoger la mayor cantidad de luz. Los reflectores están recubiertos con una capa delgada de un cambiador de longitud de onda (WLS), para convertir la luz VUV de centelleo del argón en luz en el rango de sensibilidad máxima de los tubos fotomultiplicadores (PMT). Los resultados obtenidos por ArDM se han presentado en anteriores memorias y también aparecen en los resúmenes de la década en este número.

DArT en ArDM es una prueba de concepto para una instalación que determina la pureza radioeléctrica del argón con alta precisión. El objetivo es medir la contaminación de ^{39}Ar y ^{85}Kr , de muestras de argón purificadas en la columna de destilación (Aria), recuperadas del pozo de gas CO₂ (Urania) de la planta de Kinder-Morgan, Colorado. En una primera fase, DarT planea operar una pequeña cámara LAr de 1 litro dentro de ArDM en LSC. Para este propósito, el detector ArDM se usará en el modo de una fase como voto activo para fondos internos y externos. La colaboración ha decidido construir la configuración de fase única con dos conjuntos de 6 PMT de bajo fondo en la parte superior y en la inferior, del mismo tipo que los utilizados actualmente en ArDM. Esto permite una configuración dedicada y optimizada para DArT, que puede intercambiarse con la configuración de fase dual. La configuración de fase dual se puede reutilizar para medidas con sensibilidad mayor donde se necesita un gran volumen de detector, una vez que el argón puro esté disponible en grandes cantidades.

En el 2020, la actividad de la colaboración se vio fuertemente influenciada por la pandemia de COVID-19. Por lo tanto, el calendario del experimento sufrió importantes retrasos en



(Left) Sketch of the inner structure of DArT. (Right) Picture of the actual detector. The short stainless steel pipes are used in the cryogenic tests, and will be replaced by longer tubes in the final setup.

Therefore, the schedule of the experiment has undergone significant delays compared to the original plan and had to be adapted to the new conditions. The activity in the laboratory was limited to the maintenance of ArDM. Despite these problems, the collaboration has nevertheless managed to achieve significant progress in the construction, assembly, and testing of the DArT chamber. The ten DArTeyes SIPM electronics boards received from LNGS are fully characterized and two of them used in DArT work flawlessly so far. They are placed in the acrylic structure manufactured at Carleton University, along with temperature sensors, and optical fibers for calibration. All the cables are connected through dedicated feedthroughs received from Cagliari, together with the power supplies and, last but not least, the copper vessel. On Nov 16th, the collaboration condensed argon inside DArT using liquid nitrogen. LN is kept under controlled

comparación con el plan original y tuvo que adaptarse a las nuevas condiciones. La actividad en el laboratorio se limitó al mantenimiento de ArDM. A pesar de estos problemas, la colaboración ha logrado un progreso significativo en la construcción, el montaje y las pruebas de la cámara DArT. Las diez placas electrónicas de DArTeyes SIPM recibidas de LNGS están totalmente caracterizadas y dos de ellas, utilizadas en DArT, funcionan sin problemas hasta ahora. Están colocadas en la estructura acrílica fabricada en la Universidad de Carleton, junto con los sensores de temperatura y las fibras ópticas para su calibración. Todos los cables se conectan a través de pasamuros específicos recibidos de Cagliari, junto con las fuentes de alimentación y, por último, el recipiente de cobre. El 16 de noviembre, la colaboración condensó argón dentro de DArT utilizando nitrógeno líquido. El LN se mantiene bajo una sobrepresión controlada

over-pressure to avoid freezing the argon. A high-quality vacuum was obtained before filling the chamber with Ar, at the level of 10^{-5} mbar. The first data collected look reasonably good. We are collecting more data to understand the signals at their finest details. While the background on the surface is huge, we intend to get a preliminary energy spectrum of the atmospheric argon Ar in a couple of weeks. This is an outstanding milestone in the development of the project. The next steps before bringing the system to LSC, include long-term stability run, a determination of the light yield with radioactive sources, and possibly a measurement of the ^{39}Ar spectrum.

Other works in progress were the final design of the lead castle, the DArT VME-based data acquisition system, and works on the ArDM infrastructure maintenance and procurement of new ArDM components as the 13 new PMTs with their bases, the mechanical support, the PMT top and bottom caps, and the side reflector.

para evitar la congelación del argón. Se obtuvo un vacío de alta calidad antes de llenar la cámara con Ar, a un nivel de 10^{-5} mbar. Los primeros datos recogidos parecen razonablemente buenos. Estamos recogiendo más datos para comprender las señales en sus detalles de mayor calidad. Aunque el fondo de la superficie es enorme, pretendemos obtener un espectro energético preliminar del Ar atmosférico en un par de semanas. Se trata de un hito destacado en el desarrollo del proyecto. Los próximos pasos, antes de llevar el sistema al LSC, incluyen un recorrido de estabilidad a largo plazo, una determinación del rendimiento lumínico con fuentes radiactivas y, posiblemente, una medición del espectro de ^{39}Ar .

Otros trabajos en curso fueron el diseño final del castillo de plomo, el sistema de adquisición de datos basado en DArT VME, y los trabajos de mantenimiento de la infraestructura de ArDM y la adquisición de nuevos componentes de ArDM como los 13 nuevos PMT con sus bases, el soporte mecánico, las tapas superior e inferior de los PMT y el reflector lateral.

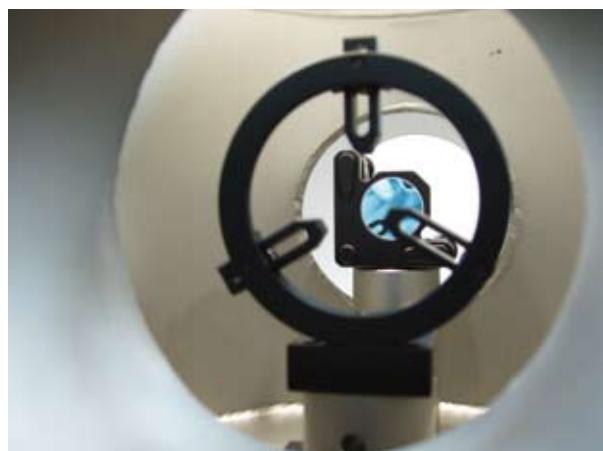


GEODYN is a geophysics observatory that covers the whole geodynamic spectrum, from near-field seismicity to tectonic deformations, Earth tides or Earth-core nutation. The facility has three components: two continuous GPS stations at the surface, and a broad-band seismometer, an accelerometer and two high-resolution laser strainmeters installed inside the tunnel. Three different teams: Seismic (CSIC, Barcelona), GPS (University of Barcelona) and Laser Interferometer (University of Salerno) are involved in the Geodyn Structure. The seismic sensors (broad-band seismometer and accelerometer) and the two CGPS antennas and recorders have been working correctly during 2018. Both interferometers have no recorded data during 2020 and the study on the future plans for this installation was initiated in 2019.

One very interesting result was published in 2019, based on data accumulated in previous years. The soundscape of rivers can reveal changes in the overall flow triggered by natural or anthropogenic agents. In 2014, using the seismic station at the LSC, Geodyn first identified the seismic waves associated with the Aragón River's discharge, isolating the snowmelt signal as the seismic source. Using algorithms to pick through Aragón's albums from 2011 to 2016, Geodyn team have now managed to hear tunes specifically linked to the thaw of the Pyrenees snowpack. Instruments tend to hear large discharge increases during the central hours of the day, a little while after the snow has had a chance to melt and percolate down to the river. On average, each year has 35 days of snowmelt, usually unleashed in two or three major melting outbursts between March and June.

GEODYN es un observatorio de geofísica que cubre todo el espectro geodinámico, desde sismicidad de campo cercano hasta deformaciones tectónicas, mareas terrestres o nutación del núcleo terrestre. La instalación tiene tres componentes: dos estaciones GPS continuas en la superficie, un sismómetro de banda ancha, un acelerómetro y dos interferómetros láser de alta resolución instalados dentro del túnel. Tres equipos diferentes: Sísmico (CSIC, Barcelona), GPS (Universidad, Barcelona) e interferómetro láser (Universidad, Salerno) están involucrados en Geodyn. Los sensores sísmicos (sismómetro de banda ancha y acelerómetro) y las dos antenas y grabadoras CGPS han funcionado continuamente durante 2019. Ambos interferómetros no han registrado datos durante 2020 y se ha iniciado un estudio sobre el futuro de la instalación.

En 2019 se publicó un resultado muy interesante, basado en los datos acumulados en años anteriores. El paisaje sonoro de los ríos puede revelar cambios en el flujo general causados por agentes naturales o antropogénicos. En 2014, utilizando la estación sísmica del LSC, Geodyn identificó por primera vez las ondas sísmicas asociadas a la descarga del río Aragón, aislando la señal de deshielo como la fuente sísmica. Usando algoritmos para revisar los álbumes de Aragón de 2011 a 2016, Geodyn ha logrado escuchar señales específicamente relacionadas con el deshielo de la nieve de los Pirineos. Los instrumentos tienden a escuchar grandes incrementos de descarga durante las horas centrales del día, un poco después de que la nieve se derrita y filtre al río. En promedio, cada año hay 35 días de deshielo de nieve, liberados en dos o tres grandes deshielos entre marzo y junio.



Low-level γ spectroscopy with High Purity Germanium (HPGe) detectors has become an essential tool for material screening in rare event physics experiments, which demand the lowest radioactivity levels. Typical examples are searches for solar neutrinos, neutrinoless double beta decay and dark matter. Compared to other methods, such as mass spectrometry or neutron activation, spectroscopy provides a comprehensive method in a non destructive way without complex sample treatment. The primordial radioisotopes ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K represent the main sources of contamination in common materials. Concerning the two former isotopes, only HPGe spectroscopy can verify secular equilibrium as it is capable of measuring the concentration of their progenies near the end of their respective decay chains – in particular ^{208}Tl and ^{214}Bi .

The best HPGe spectrometers operate deep underground and reach specific count rate sensitivity of 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$. This requires long counting periods (100 days). Consequently, several spectrometers must run in order to serve the needs of various experiments. The group led by M. Wojcik and G. Zuzel is very experienced in low background counting techniques with participation in experiments like Gallex/GNO, Borexino, GERDA and DarkSide. During 2020, a new ultra-low background 2.5 kg inverted coaxial geometry Germanium crystal with well was installed, with very effective pulse shape discrimination for further software background reduction and to screen large samples (up to 60 kg in case of copper) and very small components (electronic parts) placed in the well (high detection efficiency). Calibration and first samples analysed show that the sensitivity is better than 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$ (better than 1 ppt U equivalent). Temporarily, we are using the circular lead shield of 20 cm with 5cm of OFCu inside and an acrylic housing flushed continuously with Radon-free air. This shield will be improved with several layers: Ultra-High Purity (UHP) copper (5 cm), UHP lead ($^{210}\text{Pb} \sim 2 \text{ Bq/kg}$, 5 cm), HP lead ($^{210}\text{Pb} \sim 5 \text{ Bq/kg}$, 10 cm), normal lead (5 cm), PE with 5% Boron (15 cm).

La espectroscopía γ de bajo fondo con detectores de germanio (HPGe) se ha convertido en una herramienta esencial para la detección de materiales en experimentos de física de eventos raros, que exigen los niveles más bajos de radiactividad, como neutrinos solares, desintegración beta doble sin neutrinos y materia oscura. Respecto a otros métodos, espectrometría de masas o activación de neutrones, proporciona un método integral no destructivo sin un tratamiento complejo de la muestra. Los radioisótopos primordiales ^{232}Th , ^{238}U y ^{40}K son las principales fuentes de contaminación en materiales comunes. Con respecto a los dos primeros isótopos, la espectroscopía con HPGe puede verificar el equilibrio secular, ya que es capaz de medir la concentración de sus progenies cerca del final de sus respectivas cadenas de descomposición, en particular ^{208}Tl y ^{214}Bi .

El mejor espectrómetro HPGe opera bajo tierra y tiene una sensibilidad de 10 $\mu\text{Bq} / \text{kg}$. Esto requiere largos períodos de conteo (100 días). En consecuencia, deben utilizarse varios espectrómetros para satisfacer las necesidades de los múltiples experimentos. El grupo dirigido por M. Wojcik y G. Zuzel tiene mucha experiencia en técnicas de conteo de bajo nivel de fondo y participan en los experimentos Gallex/GNO, Borexino, GERDA y DarkSide. Durante 2020, un nuevo Germanio de 2.5 kg con pozo y geometría coaxial invertida, permite la discriminación efectiva con la forma del pulso para una mayor reducción del fondo por software y para medir grandes muestras (hasta 60 kg de cobre) y muy pequeñas (componentes electrónicas) situadas en el pozo (con alta eficiencia de detección). La calibración y primeras muestras analizadas muestran que la sensibilidad es inferior a 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$ (inferior a 1 ppt U equivalente). Temporalmente, se está utilizando un escudo de 20 cm de plomo con 5 cm de OFCu en el interior, dentro de una caja de acrílico con sobrepresión de aire libre de radón. Este escudo se va a mejorar con varias capas: cobre de ultra alta pureza (UHP) (5 cm), plomo UHP ($^{210}\text{Pb} \sim 2 \text{ Bq/kg}$, 5 cm), plomo HP ($^{210}\text{Pb} \sim 5 \text{ Bq/kg}$, 10 cm), plomo normal (5 cm), polietileno con 5% de boro (15 cm).

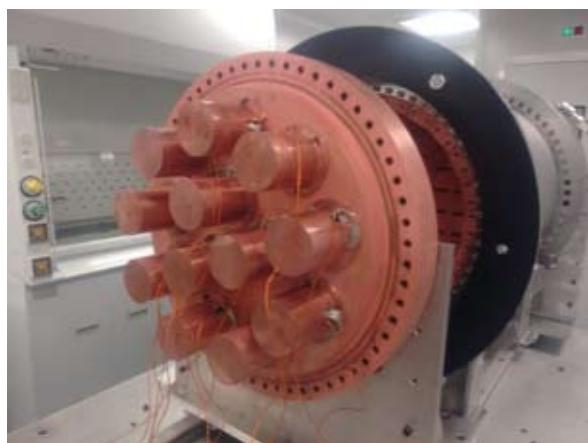
Searches for neutrinoless double beta decay, the observation of which would imply total lepton number violation and would show that neutrinos are Majorana particles require excellent energy resolution to eliminate background events that occur at energies similar to the Q-value of the decay ($Q_{\beta\beta}$). The Neutrino Experiment with a Xenon Time projection chamber (TPC), in short NEXT, collaboration intends to search for this decay by using 100 kg of xenon enriched to 90% in the candidate isotope ^{136}Xe ($Q_{\beta\beta} = 2457.8$ keV). In recent years, NEXT collaboration has developed and operated several gaseous xenon TPCs, including kg-scale detectors at Lawrence Berkeley National Lab (LBNL) and at Instituto de Física Corpuscular (IFIC) and more recently the 5 kg-scale NEXT-White at the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) in the Pyrenees.

The detector NEXT-White (named after our late mentor and friend Prof. James White) is an electroluminescent (EL) TPC filled with xenon gas and equipped with photosensors to detect the UV light emitted in interactions occurring within the active volume. Charged particles deposit energy within the drift region, producing a track of ionized and excited xenon atoms. The UV light emitted in the relaxation of the excited xenon atoms, called primary scintillation or S1, is detected immediately and the ionized electrons are drifted toward a readout plane consisting of a narrow region of high electric field, the EL gap. In passing through the EL gap, the electrons are accelerated to energies high enough to further excite, but not ionize, the atoms of the xenon gas, leading to the production of an amount of secondary scintillation photons (S2) proportional

La búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos, cuya observación implicaría una violación total del número de leptones y mostrarían que los neutrinos son partículas de Majorana, requiere excelente resolución energética para eliminar eventos de fondo en energías similares a la desintegración ($Q_{\beta\beta}$). La colaboración del Experimento de Neutrinos con una cámara de proyección Temporal (TPC) de Xenón (NEXT) busca esta desintegración mediante el uso de 100 kg de xenón enriquecido al 90% en el isótopo candidato ^{136}Xe ($Q_{\beta\beta} = 2457.8$ keV). En los últimos años, la colaboración NEXT ha desarrollado y operado varias TPC de xenón gaseoso, incluidos los detectores a escala de kg en Lawrence Berkeley National Lab (LBNL) y en el Instituto de Física Corpuscular (IFIC) y más recientemente el detector NEXT-White en la escala de 5 kg en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) en el Pirineo.

El detector NEXT-White (en honor a nuestro mentor y amigo Prof. James White) es una TPC electroluminiscente (EL) llena de gas xenón y equipada con sensores para detectar la luz UV emitida en las interacciones que ocurren dentro del volumen activo. Las partículas cargadas depositan energía dentro de la región de deriva del campo eléctrico, produciendo una traza de átomos de xenón ionizados y excitados. La luz UV emitida en la relajación de los átomos de xenón excitados, llamada centelleo primario o S1, se detecta de inmediato y los electrones ionizados se derivan hacia un plano de lectura que consiste en una región estrecha de alto campo eléctrico, la banda EL, donde se aceleran a energías lo suficientemente altas como para excitar aún más, pero no ionizar, los átomos del gas xenón, con la producción de fotones de centelleo secundario (S2) proporcional. Este proceso de amplificación, la electroluminiscencia, permite ganancias del orden de mil fotones por electrón con fluctuaciones más bajas que la ganancia de avalancha. Además, el tiempo transcurrido entre la observación de S1 y la llegada de S2 se puede utilizar para determinar la coordenada axial (z) en la que tuvo lugar la interacción.

En el detector NEXT-White, el centelleo primario (S1) y secundario (S2) se detecta mediante 12 tubos fotomultiplicadores (PMTs) Hamamatsu R11410-10, llamados plano de energía, colocados



to the number of electrons traversing the gap. This amplification process, electroluminescence, allows for gains on the order of thousand photons per electron with lower fluctuations than by avalanche gain. In addition, the time elapsed between the observation of S1 and the arrival of S2 can be used to determine the axial (z) coordinate at which the interaction took place.

In NEXT-White detector the primary (S1) and secondary (S2) scintillation are detected by an array of 12 Hamamatsu R11410-10 photomultiplier tubes (PMTs), called the energy plane, placed 130mm from a transparent wire mesh cathode held at negative high voltage. An electric field is established in the drift region defined by the cathode and another transparent mesh (the gate) located about 53 cm away. The EL region is defined by the mesh and a grounded quartz plate coated with indium tin oxide (ITO), placed 6mm behind it. A grid (10mm pitch) of 1792 SensL series-C silicon photomultipliers (SiPMs) is located behind the EL gap and measures the S2 scintillation, providing precise information on where the EL light was produced in xy. The active volume is shielded by an 60mm thick ultra-pure inner copper shell, and the sensor planes are mounted on pure copper plates of thickness 120mm. The sensor planes and active volume are enclosed in a pressure vessel

a 130 mm de un cátodo de malla de alambre transparente sostenido en negativo alto voltaje. Se establece un campo eléctrico en la región de deriva definida por el cátodo y otra malla transparente (la puerta) ubicada a unos 53 cm de distancia. La región EL está definida por la malla y una placa de cuarzo con conexión a tierra recubierta con óxido de indio y estaño (ITO), colocada 6 mm detrás de ella. Una rejilla (paso de 10 mm) de 1792 fotomultiplicadores de silicio (SiPM) serie-C SensL se encuentra detrás del espacio EL y mide el centelleo S2, proporcionando información precisa sobre dónde se produjo la luz EL en xy. El volumen activo está protegido por una carcasa de cobre interno ultrapuro de 60 mm de espesor, y los planos del sensor están montados en placas de cobre puro de 120 mm de espesor. Los planos del sensor y el volumen activo están encerrados en un recipiente a presión construido con la aleación de acero inoxidable al titanio. El recipiente encima de una mesa sísmica está rodeado por un escudo de plomo que se puede abrir y cerrar mecánicamente y conectado a un sistema de gas a través del cual el gas xenón se purifica continuamente. Toda el área experimental, incluido el sistema de gas, la electrónica, el recipiente a presión y la mesa sísmica, están estacionados en una plataforma elevada de tramez en el LSC.



constructed from the titanium-stabilized stainless-steel alloy ^{316}Ti . The vessel sits on top of a seismic table, and a lead shield that can be mechanically opened and closed surrounds the vessel. The vessel is connected to a gas system through which the xenon gas is continuously purified via the use of a hot getter. The entire experimental area, including gas system, electronics, pressure vessel, and seismic table, are stationed on an elevated tramez platform at LSC.

In 2020, NEXT-White detector completed the data taking with xenon enriched in ^{136}Xe (Run-V and Run-VI). Lifetime was very stable and longer in Run-VI (11.5 ms), with very few sparks (one per semester). Collected calibration data were used for the measurement of the energy resolution, the energy scale and the event selection efficiencies. Instead, low-background data were devoted to the measurement of the half-life of the double beta decay, and to the measurement and understanding of the backgrounds for double beta decay searches.

The collaboration has obtained a highly significant measurement of the two-neutrino mode, $1.44 (0.15) \times 10^{21}$ yr, making use of the improved reconstruction. Most of the action for the collaboration was in the preparation of the components needed to build NEXT-100, which was affected by the limited access to labs and workshops and late answer from companies during the COVID-19 pandemic. Progress in the vessel, energy plane and tracking plane were important, but delays have accumulated in the production of a number of elements, particularly in the copper shielding bars and cylinders. The TPC components have been redesigned and fabrication is proceeding slowly. All the components should be ready in 2021 to start assembling the NEXT-100 detector.

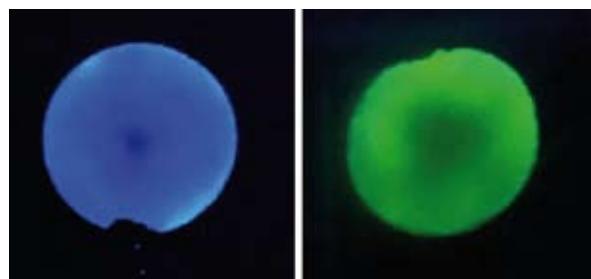
In 2020, previous research on barium tagging consolidated. The main results achieved in 2019 were published in Nature and a research program based on these ideas was recognized by the ERC with a Synergy Grant. The motivation for such line of research in double beta searches is that a positive identification of decays requires finding a signal that cannot be mimicked by radioactive backgrounds. In particular, the decay of ^{136}Xe could be established by detecting the doubly ionised daughter atom, Ba^{2+} . Such a detection could be achieved via a sensor made of a monolayer of

En 2020, el detector NEXT-White completó la toma de datos con xenón enriquecido en ^{136}Xe (Run-V y Run-VI). El tiempo de vida fue muy estable y más largo en Run-VI (11,5 ms), con muy pocas chispas (una por semestre). Los datos de calibración recogidos se utilizaron para la medida de la resolución energética, la escala de energía y las eficiencias de selección de eventos. En cambio, los datos de bajo fondo se dedicaron a la medida de la vida media de la desintegración doble beta, y a la medida y comprensión de los fondos para las búsquedas de desintegración doble beta. La colaboración ha obtenido una medida muy significativa del modo de dos neutrinos, $1,44 (0,15) \times 10^{21}$ años, haciendo uso de la reconstrucción mejorada. La mayor parte de la acción de la colaboración se centró en la preparación de los componentes necesarios para construir NEXT-100, que se vio afectada por el acceso limitado a los laboratorios y talleres y la respuesta tardía de las empresas durante la pandemia de COVID-19. Los avances en la construcción de la vasija, el plano de energía y el plano de seguimiento han sido importantes, pero se han acumulado retrasos en la fabricación de varios elementos, especialmente en las barras y los cilindros de blindaje de cobre. Los componentes de la TPC han sido rediseñados y su fabricación avanza lentamente. Todos los componentes deberían estar listos en 2021 para comenzar el ensamblaje del detector NEXT-100.

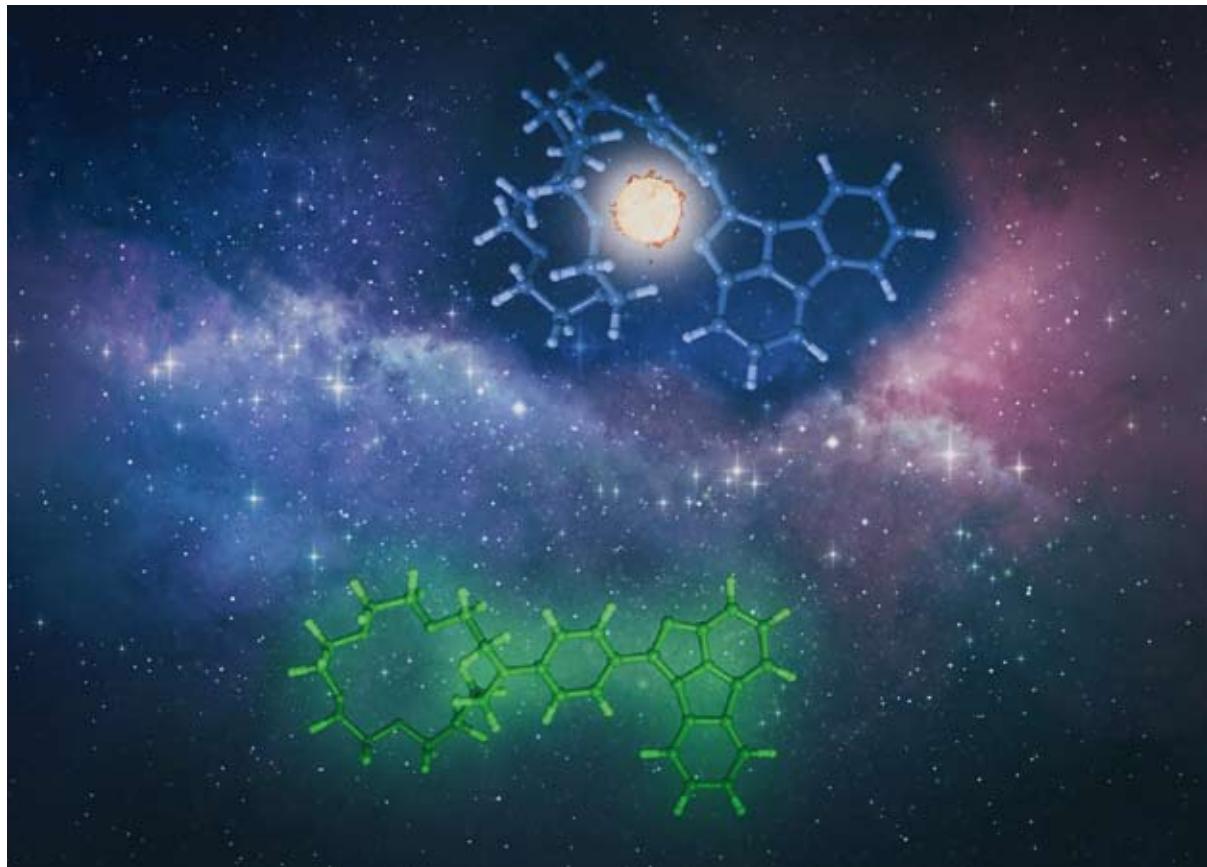
En 2020 se consolidaron las investigaciones anteriores sobre la técnica de etiquetado del bario. Los principales resultados obtenidos se publicaron en Nature y un programa de investigación basado en estas ideas fue reconocido por el ERC con una Synergy Grant. La motivación de esta línea de investigación en la búsqueda de dobles beta es que una identificación positiva de las desintegraciones requiere encontrar una señal que no pueda ser imitada por los fondos radiactivos. En particular, la desintegración del ^{136}Xe podría establecerse detectando el átomo hijo doblemente ionizado, el Ba^{2+} . Dicha detección podría lograrse mediante un sensor formado por una monocapa de indicadores moleculares. El Ba^{2+} sería capturado por una de las moléculas del sensor, y la presencia del indicador único con Ba^{2+} se revelaría posteriormente mediante una respuesta fluorescente tras la interrogación con un sistema láser. El sensor propuesto se basa en un nuevo tipo de indicadores moleculares fluorescentes bicolores, capaces de

molecular indicators. The Ba^{2+} would be captured by one of the molecules in the sensor, and the presence of the single Ba^{2+} -complexed indicator would be subsequently revealed by a fluorescent response after interrogation with a laser system. The proposed sensor is based on a new type of molecular bicolor fluorescent indicators, able to shift their emission spectra when complexed with Ba^{2+} .

The interrogation and detection system will be based in fast, two photon absorption microscopy. The primary goals of ERC Synergy Grant approved are: a) a full demonstration of the feasibility of a sensor capable of detecting single Ba^{2+} ions in a High Pressure Xenon Chamber (HPXe), and b) the construction of a large (100 kg) HPXe demonstrator, the BOLD detector, which will implement a full Barium Tagging Detector System and will demonstrate the feasibility of building a background-free experiment at the ton-scale, with large discovery potential in the next generation experiment.



desplazar sus espectros de emisión cuando se unen al Ba^{2+} . El sistema de interrogación y detección se basará en la microscopía de absorción rápida de dos fotones. Los objetivos principales de la subvención de la ERC SyG aprobada son: a) una demostración completa de la viabilidad de un sensor capaz de detectar iones individuales de Ba^{2+} en una cámara de xenón a alta presión (HPXe), y b) la construcción de un demostrador HPXe de gran tamaño (100 kg), el detector BOLD, que implementará un sistema completo de detección de etiquetado del bario y demostrará la viabilidad de construir un experimento sin fondo radioactivo a la escala de toneladas, con un gran potencial de descubrimiento en la próxima generación de experimentos.



Artistic impression of the new fluorescent molecule capable of deciphering the nature of neutrinos.

SuperKGd

Used for both proton decay searches and neutrino physics, large water Cherenkov (WC) detectors, Super-Kamiokande being the largest one, have been very successful tools in particle physics. They are notable for their large masses and charged particle detection capabilities. While current WC detectors reconstruct charged particle tracks over a wide energy range, they cannot efficiently detect neutrons. Gadolinium (Gd) has the largest thermal neutron capture cross section of all stable nuclei and produces an 8 MeV gamma cascade that can be detected with high efficiency. Because of the many new physics opportunities that neutron tagging with a Gd salt dissolved in water would open up, a large-scale R&D program called EGADS was established, which features all the components of a WC detector, chiefly a 200-ton stainless steel water tank furnished with 240 photo-detectors, DAQ, and a water system that removes all impurities in water while keeping Gd in solution.

The team tested the radiopurity with low background germanium detectors at Canfranc (Spain) and Boulby (UK), as well as with ICPMS measurements at Kamioka (Japan). EGADS has shown that Gd sulfate is essentially transparent to Cherenkov light, dissolves easily and homogeneously and can be produced to the required levels of radio-purity. Moreover, it can be removed in an efficient and economical way whenever needed. The success of EGADS has been key to the decision made by the Super-Kamiokande collaboration to refurbish the Super-K detector as a first step to load Gd sulfate and benefit from effective neutron tagging capabilities.

In 2020, Super-Kamiokande was running at a ~0.03% Gd₂(SO₄)₃ loading (nominal is 0.2%). The time required to dissolve the ~13 tons of Gd salt into the SK water was one month approximately (mid. July to mid. August). No major problems were encountered. SK is running normally; some minor effects have been detected that are currently being investigated to correct them. Preliminary measurements confirm that the SK's neutron tagging efficiency with the current solution is around the expected 50%.

Utilizados tanto para búsquedas de la posible desintegración de protones como para el estudio de la física de neutrinos, los grandes detectores Cherenkov de agua (WC), siendo Super-Kamiokande el más grande de ellos, han sido instrumentos con grandes descubrimientos en física de partículas. Son notables por su gran masa y su capacidad de detección de partículas cargadas. Si bien los detectores de WC actuales reconstruyen las trazas de las partículas cargadas en un amplio intervalo de energías, no son eficientes en la detección de los neutrones. El gadolinio (Gd) es, entre los núcleos estables, el de mayor sección eficaz de captura de neutrones térmicos y produce una cascada gamma de 8 MeV que se puede detectar con alta eficiencia. Debido a las muchas oportunidades que introduce, se ha creado un programa de I+D llamado EGADS, que tiene las características de un detector de WC: un tanque de agua de acero inoxidable de 200 toneladas equipado con 240 fotodetectores, DAQ y un sistema de purificación de agua que elimina todas las impurezas mientras Gd sigue en solución.

El equipo midió la radiopureza con detectores de germanio de bajo fondo en Canfranc (España) y Boulby (Reino Unido), así como con mediciones ICPMS en Kamioka (Japón). EGADS ha demostrado que el sulfato de Gd es esencialmente transparente a la luz de Cherenkov, se disuelve homogéneamente y puede producirse a los niveles requeridos de radio pureza. Además, se puede eliminar de manera eficiente y económica cuando sea necesario. El éxito de EGADS ha sido clave para la decisión tomada por la colaboración de Super-Kamiokande de restaurar el detector Super-K como un primer paso para añadir sulfato de Gd al agua ultra-pura y beneficiarse de la detección de neutrones.

En 2020, Super-Kamiokande funcionaba con una carga de Gd₂(SO₄)₃ de ~0,03% (la nominal es de 0,2%). El tiempo necesario para disolver las ~13 toneladas de sal de Gd en el agua de SK fue de un mes aproximadamente (de mediados de julio a mediados de agosto). No se encontraron problemas importantes. SK funciona con normalidad; se han detectado algunos efectos menores que se están investigando para corregirlos. Las mediciones preliminares confirman que la eficiencia de marcado de neutrones de SK con la solución actual está en torno al 50% esperado.

TREX-DM

The use of gas time projection chambers (TPCs) with Micromegas readouts has been recently proposed to search for low mass WIMPs, as part of the T-REX project. Many of the technical advantages exploited in the development of the detectors for axion research are of direct application also in this case. Namely, the possibility to build Micromegas readouts with radiopure materials and with a signal extraction scheme of extreme radiopurity or the capability to use topological discrimination techniques based on the highly granular readout. In addition, the way event detection happens in gas (i.e. drift of charge and signal amplification confined in the Micromegas structure) allows, in principle, to reach very low energy threshold even in relatively large size detectors. Another aspect, very important for application to WIMP searches, are the scaling-up prospects. Technical solutions for scaling-up via tessellation of identical microbulk detectors have been defined.



The TREX-DM TPC has been designed to host 0.3 kg of argon mass at 10 bar (or, alternatively, 0.16 kg of neon). It is composed of a cylindrical vessel made of radiopure copper, with an inner diameter of 0.5 m, a length of 0.5 m and a wall thickness of 6 cm. These dimensions are set by the requirements that the vessel holds up to 10

Recientemente se ha propuesto el uso de las cámaras de proyección temporal (TPC) de gas con lecturas de Micromegas para buscar WIMP de baja masa, como parte del proyecto T-REX. Muchas de las ventajas técnicas explotadas en el desarrollo de los detectores de axiones son de aplicación directa: la posibilidad de construir lecturas de Micromegas con materiales radiopuros y con un esquema de extracción de señal de radiopuridad extrema o la capacidad de utilizar técnicas de discriminación topológica basadas en la lectura altamente granular. Además, la forma en que ocurre la detección de eventos en el gas (es decir, deriva de carga y amplificación de señal confinada en la estructura de Micromegas) permite, en principio, alcanzar un umbral de energía muy bajo incluso en detectores de tamaño relativamente grande. Otro aspecto, muy importante para la aplicación a las búsquedas WIMP, son las perspectivas de ampliación a través de la teselación de detectores idénticos.

La TPC TREX-DM ha sido diseñado para albergar 0,3 kg de masa de argón a 10 bar (o, alternativamente, 0,16 kg de neon). Se compone de un recipiente cilíndrico de cobre radiopuro, con un diámetro interno de 0,5 m, una longitud de 0,5 m y un espesor de pared de 6 cm, dimensiones establecidas por los requisitos de que el recipiente soporte hasta 10 bares de presión, mientras que al mismo tiempo constituya la parte más interna del blindaje. El recipiente está dividido en dos volúmenes activos por un cátodo central de mylar, que está conectado a alta tensión. A cada lado, hay una jaula de campo uniforme de 19 cm de largo definida por una serie de tiras de cobre impresas en un sustrato de kapton sostenido por cuatro paredes de teflón.

La instalación del detector TREX-DM en LSC se completó en 2018 y el experimento ha estado en la fase de pruebas durante 2019 and 2020. El sistema de gas está completamente instalado, el blindaje montado (excepto el blindaje de neutrones) y el sistema de control, la electrónica de lectura y uno de los planos del detector ya están operativos.

Los primeros datos de la puesta a punto (calibración y antecedentes) ya se han tomado con argón a baja presión, y su evaluación preliminar es positiva. Los principales puntos desarrollados son: a) El detector

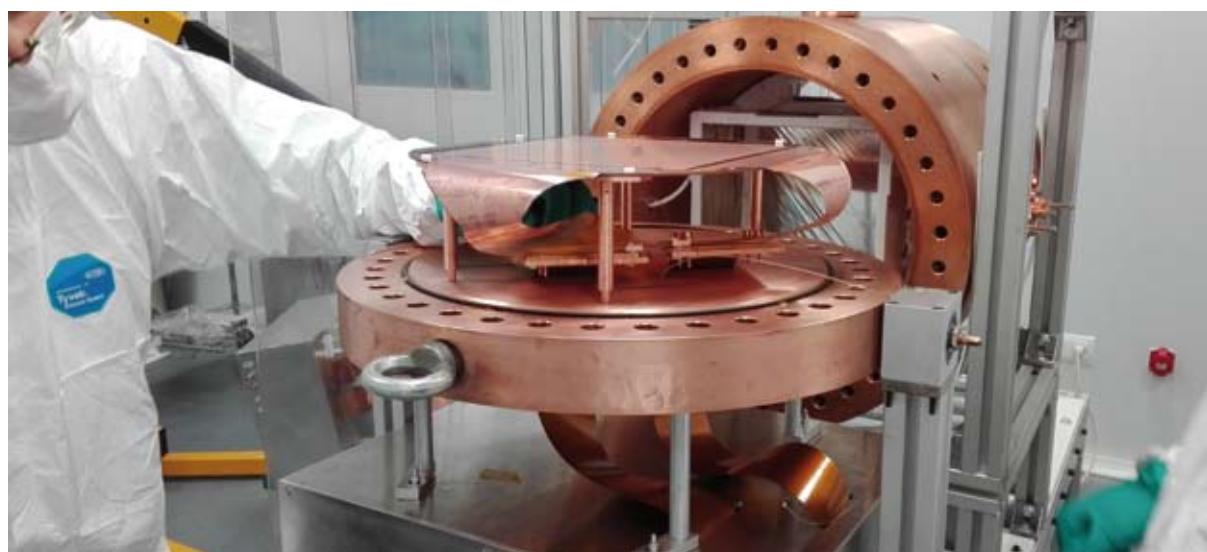
bar of pressure, while at the same time constitutes the innermost part of the shielding. The vessel is divided into two active volumes by a central mylar cathode, which is connected to high voltage by a tailor-made feedthrough. At each side there is a 19 cm long field cage defined by a series of copper strips imprinted on a kapton substrate supported by four teflon walls.

TREX-DM detector installation at LSC has been completed in 2018 and the experiment has been in the commissioning phase during 2019 and 2020. The gas system is fully installed, the shielding mounted (except for the neutron shielding), and the slow control system, readout electronics, and one detector plane are already operative. First commissioning (calibration and background) data have been already taken at low pressure Ar, and their preliminary assessment is positive.

The main points developed are: a) The detector is fully equipped and installed inside its lead castle. The gas system installation has been completed and certified by an authorized body to operate at high pressure. A first complete version of the slow control, sufficient to efficiently and safely operate the detector is already in place, and has been operative in continuous way for several weeks now. b) The inner part of the shielding, including the lead castle with the inner copper lining, the top structure, and the plastic enclosure to allow evaporated N₂ (or Rn-free air) flushing, are completed. c) Both calibration (with a ¹⁰⁹Cd source) and few-days-long background runs have already been taken with Ar + 1% Isobutane at 1.5 bar. d) The background model of the TREX-DM setup is complete.



está totalmente equipado e instalado dentro de su castillo principal. Se ha completado la instalación del sistema de gas y certificado para operar a alta presión. Ya existe una primera versión completa del sistema de control, suficiente para operar el detector de manera eficiente y segura, operativa de manera continua durante varias semanas. b) se ha completado la parte interna del blindaje, incluido el castillo de plomo con el revestimiento interno de cobre, la estructura superior y el recinto de plástico para permitir el evaporado de N₂ (o aire libre de Rn). c) Tanto la calibración (con una fuente de ¹⁰⁹Cd) como los fondos ya se han tomado en argón con isobutano al 1% a 1,5 bar. d) Se ha completado el modelo de fondo de la configuración TREX-DM.



Dark Matter in CCDs (DAMIC) has pioneered the detection of nuclear and electronic recoils induced by Dark Matter (DM) particles in charge-coupled devices (CCDs). Scientific CCDs are commonly used in the focal plane of astronomical telescopes for the digital imaging of faint astrophysical objects. Our non-standard use of CCDs was demonstrated at SNOLAB (Sudbury, Canada) where a 40-g prototype detector is currently operating. DAMIC-M is a 1 Kg detector to be installed at Laboratoire Souterrain de Modane (LSM) in France which profits from this experience and, at the same time, will greatly improve in sensitivity by further innovating the detector technology. CCDs show unique properties: a) unprecedented charge resolution, b) low leakage current, c) spatial resolution and 3D reconstruction, d) background identification and rejection.

A truly unique capability of DAMIC is that background can be identified and rejected as spatially correlated events occurring at different times, particularly relevant for ^{32}Si , a naturally occurring isotope in silicon and a dominant background contribution in the current generation of silicon detectors. DAMIC identifies by spatial correlation the ^{32}Si decay sequence, what would reduce this background by more than two orders of magnitude. DAMIC-M aims to limit the background to 0.1 event/kg/day/keV by detector shielding, careful screening and selection of materials, proper handling of several detector components to minimise cosmogenic activation. Specific activities to be carried out at LSC will include: 1) radiopurity measurements of DAMIC-M components for selection of materials. 2) installation of a low-background CCD test setup to characterize contamination of the new generation of CCDs, a new facility for LSC with unique screening capabilities, e.g. for cosmogenic ^{32}Si (a dominant background for next-generation silicon DM detectors) and surface backgrounds.

Materia Oscura en CCDs (DAMIC) ha sido pionero en las técnicas de detección de retrocesos nucleares y electrónicos inducidos por partículas de Materia Oscura (DM) en dispositivos de carga acoplada (CCD). Los CCD de uso científico se usan comúnmente en el plano focal de las cámaras de telescopios astronómicos para obtener imágenes digitales de objetos astrofísicos. Nuestro uso no estándar de los CCD se demostró en SNOLAB (Sudbury, Canadá) donde actualmente funciona un prototipo de 40 g. DAMIC-M es un detector de 1 Kg que se instalará en el Laboratorio Subterráneo de Modane (LSM) en Francia, que se beneficia de esta experiencia y, al mismo tiempo, mejorará su sensibilidad al innovar aún más la tecnología del detector. Los CCD muestran propiedades únicas: a) resolución de carga sin precedentes, b) baja corriente de fuga, c) resolución espacial y reconstrucción 3D, d) identificación y rechazo del fondo.

Una capacidad única de DAMIC es que el fondo se puede identificar y rechazar como eventos espacialmente correlacionados que ocurren en diferentes momentos, relevante para ^{32}Si , un isótopo natural del silicio y una contribución de fondo dominante en la generación actual de detectores de silicio. DAMIC identifica por correlación espacial la secuencia de descomposición ^{32}Si , lo que reduciría este fondo en más de un factor 100. DAMIC-M tiene como objetivo limitar el fondo a 0.1 eventos/kg/día/keV mediante el blindaje del detector, la medida radioactiva y selección de materiales, el manejo adecuado de componentes del detector para minimizar la activación cosmogénica. Las actividades específicas que se llevarán a cabo en LSC incluirán: 1) medidas de radiopureza de componentes para la selección de materiales. 2) instalación de un detector de bajo fondo para medir la contaminación de la nueva generación de CCD, una nueva instalación en el LSC con capacidades de detección únicas para el ^{32}Si cosmogénico (un fondo dominante para los detectores DM de silicio de próxima generación) y otros fondos radioactivos en superficie.

In the last decade, quantum microwave electronics using superconducting circuits (SCCs) has emerged as one of the leading candidates for the implementation of a coherent quantum processor. SCCs offer several advantages, such as ease of fabrication and design, but suffer from lower coherence times. Both energy relaxation (dissipation) and dephasing (frequency jitter) contribute to decoherence. The ultimate goal is to sufficiently suppress all decoherence mechanisms acting on superconducting qubits. On top of several types of microscopic and macroscopic imperfections, collective excitations above the superconducting gap or quasiparticles (QPs), are generated by phonons and by radioactive interactions, have been proven to be the one of the main contributors to decoherence, especially in high-impedance quantum bits and detectors, but also in certain transmon qubits, which are currently the industry standard.

The project Abatement of Radioactivity for Qubits (ARQ) is a novel technology with a set of tools and methods that mitigates the presence of QPs in SCC used in the quantum regime. In order to establish a QP-free technology, the goals are: 1) Establish whether the future of quantum SCCs, relying on QP-free technology, can be envisaged in above-ground laboratories, where they are vulnerable to cosmic radiation, or whether work in deep (or shallow) underground laboratories will be required. 2) Quantify the QP suppression achievable above ground by the exploitation of heavily shielded cryostats and by careful selection and cleaning of all materials involved in the device fabrication and operation. 3) Propose and validate a self-contained software tool modelling the QP dynamics for the complex environment of realistic devices, including interaction with substrate phonons. Using the software tool, evaluate and implement mitigation techniques, such as phonon or quasiparticle traps. 4) Integrate the previous strategies in low and high-impedance qubits to be operated in a custom-design facility featuring low radioactivity and low noise.

En la última década, la electrónica cuántica de microondas que utiliza circuitos superconductores (SCC) ha surgido como uno de los principales candidatos para la implementación de un procesador cuántico coherente. Los SCC ofrecen varias ventajas, como la facilidad de fabricación y diseño, pero adolecen de menores tiempos de coherencia. Tanto la relajación de la energía (dissipación) como el desfase (fluctuación de frecuencia) contribuyen a la decoherencia. El objetivo final es suprimir suficientemente todos los mecanismos de decoherencia que actúan sobre los qubits superconductores. Además de varios tipos de imperfecciones microscópicas y macroscópicas, se ha demostrado que las excitaciones colectivas por encima de la brecha superconductora o cuasipartículas (QP), generadas por los fonones y por las interacciones radiactivas, son uno de los principales factores que contribuyen a la decoherencia, especialmente en los bits y detectores cuánticos de alta impedancia, pero también en ciertos qubits de transmón, que son actualmente el estándar de la industria.

El proyecto ARQ (Abatement of Radioactivity for Qubits) es una tecnología novedosa con un conjunto de herramientas y métodos que mitiga la presencia de QPs en el SCC utilizado en el régimen cuántico. Para establecer una tecnología libre de QP, los objetivos son 1) Establecer si el futuro de los SCC cuánticos, basados en una tecnología libre de QP, puede contemplarse en laboratorios de superficie, donde son vulnerables a la radiación cósmica, o si será necesario trabajar en laboratorios subterráneos profundos (o poco profundos). 2) Cuantificar la supresión de QP que se puede conseguir en la superficie mediante la explotación de criostatos fuertemente blindados y mediante una cuidadosa selección y limpieza de todos los materiales que intervienen en la fabricación y funcionamiento del dispositivo. 3) Proponer y validar una herramienta de software autónoma que modele la dinámica del QP para el complejo entorno de los dispositivos realistas, incluyendo la interacción con los fonones del sustrato. Utilizando la herramienta de software, evaluar e implementar técnicas de mitigación, como trampas de fonones o cuasipartículas. 4) Integrar las estrategias anteriores en qubits de baja y alta impedancia para que funcionen en una instalación de diseño personalizado con baja radiactividad y bajo ruido.

EOI-25-2020

The International Axion Observatory (IAXO) project is a large-scale axion helioscope that will look for axions and axion-like particles (ALPs) produced in the Sun with unprecedented sensitivity. The near-term goal of the collaboration is the construction and operation of BabyIAXO, an intermediate experimental stage that will be hosted at DESY. BabyIAXO is conceived to test all subsystems (magnet, optics and detectors) at a relevant scale for the final system and thus serve as a prototype, but at the same time as a fully-fledged helioscope with relevant physics reach in itself, and with potential for discovery. It is now under construction and is expected to start its commissioning in 2023.

One of the crucial components of the project is the ultra-low background X-ray detectors that will image the photons produced by axion conversion in the experiment. The baseline detection technology is based on small Time Projection Chambers (TPC) with pixelated Micromegas readouts built with the microbulk technology. The proposal consists on the realization and operation of a low-background X-ray detector platform at the LSC, as a key component of the detector efforts of the collaboration. In particular, the platform will assist in the preparation of the detectors for BabyIAXO, as well as to assess and improve the detector background for the final IAXO. The near-term goal of the platform is to operate the IAXO-D1 Micromegas detector, which is a close-to-final replica of the detector to be installed at BabyIAXO. Data obtained with IAXO-D1 will determine the intrinsic component of the background and, combined with data from simulations and measurements with prototypes on surface, will support the roadmap defined to demonstrate the BabyIAXO target background level.

In the longer term, the proposed platform may accommodate other detection technologies also under consideration, Metallic Magnetic Calorimeters, Neutron Transmutation Doped sensors, Transition Edge Sensors and Silicon Drift Detectors.

El proyecto del Observatorio Internacional de Axiones (IAXO) es un helioscopio de axones a gran escala que buscará axones y partículas similares a los axones (ALP) producidas en el Sol con una sensibilidad sin precedentes. El objetivo a corto plazo de la colaboración es la construcción y operación de BabyIAXO, una etapa experimental intermedia que se alojará en DESY. BabyIAXO está concebido para probar todos los subsistemas (imán, óptica y detectores) a una escala relevante para el sistema final y servir así como prototipo, pero al mismo tiempo como un helioscopio completo con un alcance físico relevante en sí mismo, y con potencial para el descubrimiento. Actualmente está en construcción y se espera que comience su puesta en marcha en 2023.

Uno de los componentes cruciales del proyecto son los detectores de rayos X de ultrabajo fondo que tomarán imágenes de los fotones producidos por la conversión del axión en el experimento. La tecnología de detección de fondo se basa en pequeñas Cámaras de Proyección de Tiempo (TPC) con lecturas Micromegas pixeladas construidas con la tecnología de microbulbos. La propuesta consiste en la realización y operación de una plataforma de detección de rayos X de bajo fondo en el LSC, como componente clave de los esfuerzos de detección de la colaboración. En particular, la plataforma ayudará a preparar los detectores para BabyIAXO, así como a evaluar y mejorar el fondo del detector para el IAXO final. El objetivo a corto plazo de la plataforma es operar el detector IAXO-D1 Micromegas, que es una réplica casi final del detector que se instalará en BabyIAXO. Los datos obtenidos con IAXO-D1 determinarán el componente intrínseco del fondo y, combinados con los datos de las simulaciones y mediciones con prototipos en superficie, apoyarán la hoja de ruta definida para demostrar el nivel de fondo objetivo de BabyIAXO.

A más largo plazo, la plataforma propuesta puede dar cabida a otras tecnologías de detección que también se están estudiando, Calorímetros Magnéticos Metálicos, Sensores de Transmutación de Neutrones Dopados, Sensores de Borde de Transición y Detectores de Deriva de Silicio.

The High Efficiency Neutron-Spectrometry Array (HENSA) is an extended energy detection system for neutron spectrometry based on the Bonner Spheres principle [THO02]. The current version of HENSA is composed by ten different single detectors using 60 cm active length cylindrical thermal neutron counters (^3He -filled tubes). In order to provide sensitivity at different energy regions, each tube is embedded in a matrix of different materials, including High Density Polyethylene (HDPE) moderators, cadmium shielding and lead high energy neutron converters. The use of long ^3He -filled tubes provides HENSA with a neutron response \sim 5-15 times larger than conventional Bonner Spheres systems in the energy range from thermal up to 10 GeV. Related to dark matter detectors, particularly ANAIS and the DAMA/LIBRA signal, seasonal variations in the neutron flux could mimic an annual modulation in the experiment detection rate. For ANAIS success is of great relevance disposing of a good measurement of both, total neutron flux and spectra and possible long-term variations, in order to set a limit on the corresponding effect in ANAIS background and annual modulation analysis.

The joint HENSA and ANAIS propose to perform a characterization of the neutron flux at Hall B (energy spectrum and time evolution). This measurement is aimed for a precise determination of the neutron background and its possible seasonal fluctuation, affecting the ANAIS experiment. Specific activities to be carried out at Hall B include: 1) Detector tests in order to determine sensitivity of the system to electrical noise and vibrations in positions close to ANAIS experiment. 2) Long term study (year-scale) of possible modulation of the neutron flux using a reduced number of detectors from HENSA. 3) In-situ characterization of the total neutron flux using the full HENSA setup (3-6 months).

HENSA (High Efficiency Neutron-Spectrometry Array) es un sistema de detección de energía extendida para espectrometría de neutrones basado en el principio de las esferas de Bonner [THO02]. La versión actual de HENSA está compuesta por diez detectores individuales diferentes que utilizan contadores de neutrones térmicos cilíndricos de 60 cm de longitud activa (tubos llenos de ^3He). Para proporcionar sensibilidad en diferentes regiones de energía, cada tubo está incrustado en una matriz de diferentes materiales, incluyendo moderadores de polietileno de alta densidad (HDPE), blindaje de cadmio y convertidores de neutrones de alta energía de plomo. El uso de tubos largos llenos de ^3He proporciona a HENSA una respuesta neutrónica \sim 5-15 veces mayor que los sistemas convencionales de ‘Bonner Spheres’ en el rango de energía que va desde la térmica hasta los 10 GeV. En relación con los detectores de materia oscura, en particular ANAIS y la señal DAMA/LIBRA, las variaciones estacionales en el flujo de neutrones podrían imitar una modulación anual en la tasa de detección del experimento. Para ANAIS es de gran relevancia disponer de una buena medición tanto del flujo total de neutrones como de los espectros y de las posibles variaciones a largo plazo, con el fin de establecer un límite en el efecto correspondiente en el fondo de ANAIS y en el análisis de la modulación anual.

El proyecto conjunto de HENSA y ANAIS propone realizar una caracterización del flujo de neutrones en Hall B (espectro de energía y evolución temporal). Esta medición tiene como objetivo determinar con precisión el fondo de neutrones y su posible fluctuación estacional, afectando al experimento ANAIS. Las actividades específicas que se llevarán a cabo en el Hall B incluyen 1) Pruebas del detector para determinar la sensibilidad del sistema al ruido eléctrico y a las vibraciones en posiciones cercanas al experimento ANAIS. 2) Estudio a largo plazo (a escala anual) de la posible modulación del flujo de neutrones utilizando un número reducido de detectores de HENSA. 3) Caracterización in situ del flujo total de neutrones utilizando la configuración completa de HENSA (3-6 meses).

EOI-27-2020

The expression of interest aims to build and commission an underground facility to grow ultra-high radiopurity NaI(Tl) scintillators. The strategy is based on the work done at Princeton by the group of F. Calaprice in the framework of the SABRE experiment, which proved the feasibility to make a high-purity 5-kg scale NaI(Tl) detector and carried out measurements at the Gran Sasso Laboratory. The facility will be used to make detectors to search for dark matter in a model-independent approach. The synergy between the collaborations SABRE (LNGS) and ANAIS (LSC) is a unique opportunity to face the DAMA/LIBRA finding with the most ultra-low NaI(Tl) background detector. Therefore, this proposal also aims to merge the expertise from the two collaborations.

Preliminary tests based on zone refining (ZR) show that a detector with a factor of five lower background in the ROI can be produced. A system has been designed and built by Princeton University in collaboration with Mellen Company. During ZR, impurities are moved to one end of the ingot by a moving ring oven. Impurities concentration is lower in the solid than in the liquid, so the crystal is purified. There will be a region on one end of the crucible with lower temperature to let Pb compounds to precipitate before entering the zone refining. Specific goals include: 1) Run a few growth tests on surface at Princeton and make background measurements by ICP-MS and direct counting at Princeton and LSC/LNGS. 2) Move equipment underground at LSC and perform underground growth and measurements. 3) Based on previous steps results and on availability of underground space and funding, we aim to build and run an experiment with about 50 kg of ultra-high purity NaI(Tl) detectors.

La expresión de interés tiene como objetivo construir y poner en marcha una instalación subterránea para cultivar centelleadores de NaI(Tl) de ultra alta pureza. La estrategia se basa en el trabajo realizado en Princeton por el grupo de F. Calaprice en el marco del experimento SABRE, que demostró la viabilidad de fabricar un detector de NaI(Tl) de gran pureza a escala de 5 kg y realizó mediciones en el Laboratorio Gran Sasso. La instalación se utilizará para fabricar detectores para la búsqueda de materia oscura en un enfoque independiente del modelo. La sinergia entre las colaboraciones SABRE (LNGS) y ANAIS (LSC) es una oportunidad única para afrontar el hallazgo de DAMA/LIBRA con el detector de fondo de NaI(Tl) más ultrabajo. Por lo tanto, esta propuesta también tiene como objetivo fusionar la experiencia de las dos colaboraciones.

Las pruebas preliminares basadas en el refinamiento de zonas (ZR) muestran que se puede producir un detector con un factor de cinco menos de fondo en el ROI. La Universidad de Princeton ha diseñado y construido un sistema en colaboración con la empresa Mellen. Durante la ZR, las impurezas se trasladan a un extremo del lingote mediante un horno de anillo móvil. La concentración de impurezas es menor en el sólido que en el líquido, por lo que el cristal se purifica. Habrá una región en un extremo del crisol con una temperatura más baja para dejar que los compuestos de Pb se precipiten antes de entrar en la zona de refinado. Los objetivos específicos incluyen: 1) Realizar algunas pruebas de crecimiento en superficie en Princeton y hacer mediciones de fondo por ICP-MS y recuento directo en Princeton y LSC/LNGS. 2) Trasladar el equipo al subsuelo en LSC y realizar crecimientos y mediciones subterráneas. 3) Basándonos en los resultados de los pasos anteriores y en la disponibilidad de espacio subterráneo y de financiación, pretendemos construir y realizar un experimento con unos 50 kg de detectores de NaI(Tl) de pureza ultra alta.

PUBLICATIONS / PUBLICACIONES

ANALIS-112 status: two years results on annual modulation

J. Amaré et al. Contributed to the TAUP2019 Conference, Toyama, Japan, September 2019.
Journal of Physics: Conference Series 1468 (2020) 012014

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1468/1/012014>
<https://arxiv.org/abs/1910.13365>

The ANALIS-112 experiment at the Canfranc Underground Laboratory

J. Amaré et al. Contributed to the TAUP2017 Conference, Sudbury, Canada, July 2017.
Journal of Physics: Conference Series 1342 (2020) 012056
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1342/1/012056/pdf>
<https://arxiv.org/abs/1710.03837>

The liquid-argon scintillation pulsedshape in DEAP-3600

DEAP Collaboration•P. Adhikari(Carleton U.) et al. (Jan 27, 2020)
Published in: Eur.Phys.J.C 80 (2020) 4, 303 • e-Print: 2001.09855 [physics.ins-det]

The CROSS experiment: search for $0\nu\beta\beta$ decay with surface sensitive bolometers

CROSS Collaboration•Anastasiia Zolotarova(CSNSM, Orsay) for the collaboration. (Mar 21, 2020)
Published in: J.Phys.Conf.Ser. 1468 (2020) 1, 012147 • Contribution to: TAUP 2019

A CUPID Li 2100MoO₄ scintillating bolometer tested in the CROSS underground facility

CUPID and CROSS Collaborations, A. Armatol(IRFU, Saclay) et al. (Nov 27, 2020)
Published in: JINST 16 (2021) 02, P02037 • e-Print: 2011.13806 [physics.ins-det]

Status of the NEXT project

NEXT Collaboration•Lior Arazi(Ben Gurion U. of Negev) for the collaboration. (Feb 28, 2020)
Published in: Nucl.Instrum.Meth.A 958 (2020) 162126 • Contribution to: VCI2019

The NEXT experiment for neutrinoless double beta decay searches

NEXT Collaboration•A. Simón (Valencia U. and Valencia U., IFIC) for the collaboration. (Jan 17, 2020)
Published in: J.Phys.Conf.Ser. 1342 (2020) 1, 012046 • Contribution to: TAUP 2017

Mitigation of backgrounds from cosmogenic ^{137}Xe in xenon gas experiments using ^3He neutron capture

NEXT Collaboration•L. Rogers (Texas U., Arlington) et al. (Jan 29, 2020)
Published in: J.Phys.G 47 (2020) 7, 075001 • e-Print: 2001.11147 [physics.ins-det]

Sensitivity of a tonne-scale NEXT detector for neutrinoless double beta decay searches

NEXT Collaboration, C. Adams(Argonne (main) et al. (May 13, 2020)
e-Print: 2005.06467 [physics.ins-det]

Sensitivity of the NEXT experiment to Xe-124 double electron capture

NEXT Collaboration, G. Martínez-Lema(Valencia U., IFIC and Santiago de Compostela U., IGFAE) et al. (Jun 12, 2020)
Published in: JHEP 21 (2020) 203 • e-Print: 2006.07320 [hep-ex]

Dependence of polytetrafluoroethylene reflectance on thickness at visible and ultraviolet wavelengths in air

NEXT Collaboration, S. Ghosh (Harvard U.) et al. (Jul 13, 2020)

Published in: JINST 15 (2020) 11, P11031 • e-Print: 2007.06626 [physics.ins-det]

Demonstration of background rejection using deep convolutional neural networks in the NEXT experiment

NEXT Collaboration, M. Kekic (Valencia U., IFIC and Santiago de Compostela U., IGFAE) et al. (Sep 22, 2020)

Published in: JHEP 01 (2021) 189 • e-Print: 2009.10783 [physics.ins-det]

Design and Construction of a New Detector to Measure Ultra-Low Radioactive-Isotope Contamination of Argon – DART in ArDM

DarkSide-20k Collaboration•C.E. Aalseth(PNL, Richland) et al. (Jan 22, 2020)

Published in: JINST 15 (2020) 02, P02024 • e-Print: 2001.08106 [astro-ph.IM]

Sensitivity of future liquid argon dark matter search experiments to core-collapse supernova neutrinos

DarkSide 20k Collaboration•P. Agnes(Houston U.) et al. (Nov 16, 2020)

Published in: JCAP 03 (2021) 043 • e-Print: 2011.07819 [astro-ph.HE]

Scalable haloscopes for axion dark matter detection in the 30 μ eV range with RADES

A. Álvarez Melcón(Cartagena Politecnica U.), S. Arguedas Cuendis(CERN), C. Cogollos(ICC, Barcelona U.), A. Díaz-Morcillo(Cartagena Politecnica U.), B. Döbrich(CERN) et al. (Feb 25, 2020)

Published in: JHEP 07 (2020) 084 • e-Print: 2002.07639 [hep-ex]

The Hyper-Kamiokande Experiment - Snowmass LOI

Hyper-Kamiokande Collaboration, K. Abe (York U., Canada and Kamioka Observ. and Tokyo U., IPMU and Tokyo U.) et al. (Sep 1, 2020)

Contribution to: 2021 Snowmass Summer Study • e-Print: 2009.00794 [physics.ins-det]

During 2020, 12 presentations have been given at International Scientific Conferences by LSC users

A lo largo del 2020 los usuarios del LSC han realizado 12 presentaciones en Conferencias Internacionales.

GOVERNING BODIES / ORGANOS DE GOBIERNO

Governing Council/Consejo Rector

Carmen Castresana Fernández, Dirección General de Planificación de la Investigación
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Enrique Navarro Rodríguez, Director General de Investigación e Innovación
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Blanca Ros Latienda, Vicerrectora de Política Científica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Enrique Playán Jubilar, Director Agencia Estatal de Investigación
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Iván Andrés Martínez, Secretario General Técnico de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Pilar Zaragoza Fernández, Vicerrectora de Transferencia e Innovación Tecnológica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Executive Committee / Comisión Ejecutiva

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Francisco Herrada Martín, Jefe del Área de la Subdirección General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Iván Andrés Martínez, Secretario General Técnico de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Enrique Navarro Rodríguez, Director General de Investigación e Innovación
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Blanca Ros Latienda, Vicerrectora de Política Científica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Eduardo García Abancéns, Delegado del Rector para el LSC
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

ADVISORY COMMITTEES / COMITÉS ASESORES

International Advisory Committee

Comité Científico Asesor Internacional

Mark Chen (Chairman) - Queen's University, Ontario (Canada)

Frank T. Avignone - University of South Carolina (USA)

Teresa Marrodan - Max-Planck-Institut für Kernphysik (Germany)

Elvio Acciari - INFN, Bari (Italy)

Paola Tropea - CERN, Geneva (Switzerland)

Gabriella Catanese - INFN, Bari (Italy)

Carlos Lacasta - CSIC, Inst. de Física Corpuscular, Valencia (Spain)

Olof Tengblad - CSIC, Madrid (Spain)

Mª José García Borge - CSIC, Madrid (Spain)

Acknowledgments / Agradicimientos

The LSC would like to thank the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragón and the University of Zaragoza for providing the financial support without which it could not pursue its mission of fundamental research and outreach. The LSC would also like to thank the Major of Canfranc and the Somport Tunnel Control Centre for the positive collaboration.

El LSC agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación, al Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza su apoyo financiero sin el cual no podría perseguir su misión de investigación y divulgación. El LSC también quiere agradecer al alcalde de Canfranc y al Centro de Control del Túnel de Somport su positiva colaboración.

