

# NEXT

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 ( $Q_{\text{BB}}$ ). 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  $^{136}\text{Xe}$  ( $Q_{\text{BB}} = 2457.8$  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 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.

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 ( $Q_{\text{BB}}$ ). 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  $^{136}\text{Xe}$  ( $Q_{\text{BB}} = 2457.8$  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 electroluminescente (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 electroluminescencia, 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.

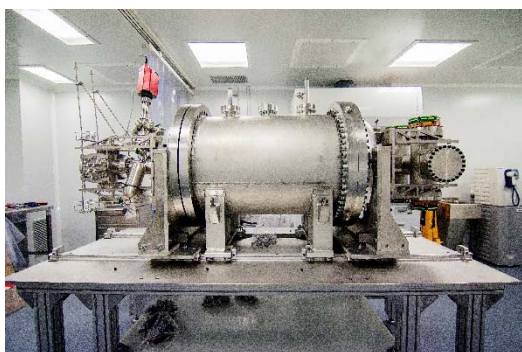
In NEXT-White detector the primary (S1) and secondary (S2) scintillation are detected by an array of 12 Hamamatsu R11410-10 photomultiplier tubes (PMTs), called the energy plane, placed 130mm from a transparent wire mesh cathode held at negative high voltage. An electric field is established in the drift 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 constructed from the titanium-stabilized stainless-steel alloy  $^{316}\text{Ti}$ . 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 tramex platform at LSC.

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 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 ultra puro 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 tramex en el LSC.



Foto: @javeierlarrea.com

Previous analyses of the NEXT-White energy resolution using gammas from  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{232}\text{Th}$  sources showed an extrapolated 1% FWHM resolution at  $Q_{\beta\beta}$ . The relatively low pressure (7.2 bar) at which those data were taken meant that electron tracks of events with energy near  $Q_{\beta\beta}$  were not easily contained in the detector. Low statistics at the photopeak limited the highest energy at which a detailed analysis of energy resolution was performed to 1.6 MeV. More data has since been taken at a higher pressure and the results are reported in the present study.



Run-III and Run-IV were completed during 2018.

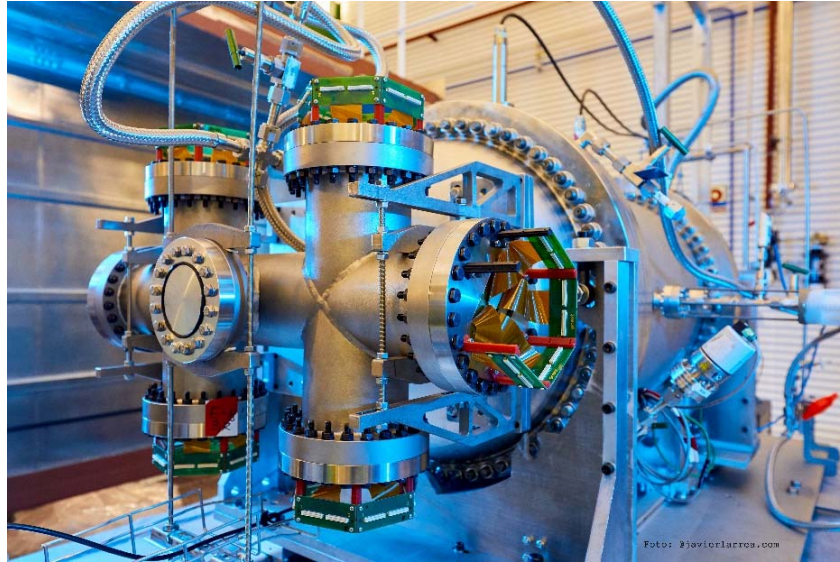
Run-III started on 20th Feb. 2018 and stopped on 27th March. Pressure was 10.9 bar stabilized after a few days. A set of measures were planned for Run III to enhance the electron lifetime from the start of the run. These included a longer initial vacuum cleaning period report, a reduction of  $\text{O}_2$  contamination that could result from diffusion through very small leaks and the replacement of elastomer o-rings with metallic helicoflex gaskets. Run III with this better vacuum procedure started with 1 ms, a factor six improvement compared with previous run. The required modifications of the system for operation up to 15 bar included replacing a handful of bursting disks and other minor actions. The two main operations were the addition of a flow regulator and a pressure regulator. The external company TeraTorr measured and certified the leak rate in the gas system both in vacuum and in pressure concluding that connections have a leak rate below  $10^{-8}$  mbar l/s (minimum detectable leak rate in pressure), i.e., below 0.15 grXe/year. Thinking of the contamination from leaks when pumping vacuum in the system, this is equivalent to 0.04 gr air/year.

Análisis anteriores de la resolución de energía NEXT-White utilizando fuentes gamma de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{232}\text{Th}$  mostraron una resolución extrapolada de 1% FWHM en  $Q_{\beta\beta}$ . La presión relativamente baja (7.2 bar) implica que las trazas de los con energía cerca de  $Q_{\beta\beta}$  no están fácilmente contenidas en el detector. La baja estadística limitó la energía más alta a la que se realizó un análisis detallado de la resolución de energía a 1.6 MeV. Desde entonces se han tomado más datos a mayor presión y los resultados se informan en el presente estudio.

Durante 2018, se realizaron los Run-III y Run-IV.

El Run-III comenzó el 20 de febrero de 2018 y se completó el 27 de marzo. La presión se estabilizó en 10,9 bares en los primeros días de funcionamiento. Se planificó un conjunto de medidas en el Run-III para mejorar la vida útil de los electrones desde el inicio de la toma de datos. Estos incluyeron un período de limpieza de vacío inicial más largo, una reducción de la contaminación de  $\text{O}_2$  por difusión a través de pequeñas fugas y el reemplazo de juntas tóricas de elastómero por juntas metálicas helicoflex. El Run-III, con este mejor procedimiento de vacío, comenzó con una vida útil de 1 ms, una mejora de un factor seis. Las modificaciones para la operación de hasta 15 bar incluyeron la adición de un regulador de flujo, un regulador de presión, reemplazar discos en ruptura y otras acciones menores,. La compañía externa TeraTorr midió y certificó la tasa de fuga en el sistema de gas tanto en vacío como en presión, concluyendo que las conexiones tienen una tasa de fuga inferior a  $10^{-8}$  mbar l/s (tasa de fuga mínima detectable en presión), es decir, inferior a 0,15 grXe al año. Respecto a la contaminación por fugas cuando se bombea vacío en el sistema, esto es equivalente a 0.04 gr de aire al año.





Run-IV has been a turning point in the NEXT-White experimental program. From the operational point of view, we confirmed the high stability of the system, which has operated continuously during six months, with no leaks, very few sparks and high electron lifetime. We have developed a procedure to calibrate the detector on a day-by-day basis using krypton decays that results in almost intrinsic-resolution for low energy krypton data and a confirmed resolution of 1% full width at half-maximum (FWHM) at the energies of  $Q_{\beta\beta}$ . This is one of the major goals of NEXT-White. We have also studied the topological signature, using the data themselves, as well as the Monte Carlo, obtaining a reasonable agreement between both. This was also a major goal of NEXT-White. The analysis of the low background data shows that during Run IVa the background rate was 8 mHz. During Run IVb (radon free air), the rate decreased to 4 mHz and during Run IVc to 2 mHz, a value quite close to the Monte Carlo expectation for internal background sources. We have done our preliminary characterization of the background measured during these 3 periods, as well as a first look to the neutrinoless double beta region. Overall, our level of understanding of the chamber and the background data appears to be satisfactory. This includes the analysis in the  $Q_{\beta\beta}$  region.

We plan to extend Run VIc until mid-January, and then start Run V, with enriched xenon, the last goal of the NEXT-White apparatus. The experiment has shown ample proof that the collaboration is ready to move on into the double beta decay measurement.

El Run-IV corresponde a un punto de inflexión en el programa del experimento NEXT-White. Se confirmó la estabilidad del sistema, funcionando continuamente durante seis meses, sin fugas, muy pocas chispas y una alta vida útil de los electrones. Se desarrolló un procedimiento para calibrar el detector utilizando desintegraciones del kriptón, con una resolución intrínseca para datos de kriptón de baja energía con una resolución confirmada del 1% de anchura a la altura media (FWHM) a la energía de la desintegración doble beta ( $Q_{\beta\beta}$ ). Este era uno de los principales objetivos de NEXT-White. También hemos estudiado la firma topológica, con acuerdo entre los datos y la simulación Monte Carlo, obteniendo un acuerdo razonable entre ambos. Este era también un objetivo importante de NEXT-White. El análisis de los datos de fondo bajo muestra que durante el Run-IVa la tasa de fondo fue de 8 mHz. Durante el Run-IVb (con aire libre de radón), la tasa disminuyó a 4 mHz y durante el Run-IVc a 2 mHz (castillo de plomo interior extra), un valor muy cercano a la simulación Monte Carlo con los datos de contaminación de los materiales empleados. Se caracterizó el fondo medido durante estos 3 periodos, así como la primera inspección de la región de energías de la desintegración doble beta sin neutrinos. El Run-VIc se extenderá hasta mediados de enero de 2019, y luego comenzar el Run-V, con xenón enriquecido, el último objetivo del experimento NEXT-White. El experimento ha demostrado que que está preparado para explorar la señal de desintegración doble beta sin neutrinos.