

## Focal plane detectors of a Laue lens telescope for Nuclear Astrophysics

Durante las dos últimas décadas se han buscado formas de mejorar la sensibilidad de los instrumentos para astrofísica en el rango energético de las transiciones nucleares (desde centenares de keV hasta unos pocos MeV), incrementando la eficiencia de los detectores y reduciendo el ruido instrumental (mediante sofisticados mecanismos de blindaje y técnicas de análisis). Con este objetivo, un enorme esfuerzo en innovación instrumental (construcción de prototipos y estudios numéricos) está siendo realizado por una comunidad creciente de científicos que se enfrentan al reto de preparar la próxima generación de telescopios de rayos gamma. En particular, son especialmente notables los avances logrados en los últimos años en el campo de la focalización de rayos gamma mediante lentes de difracción. Conceptualmente, una lente de rayos gamma reduciría drásticamente el ruido instrumental ya que concentra los fotones en un detector de pequeñas dimensiones (el ruido es proporcional al volumen del instrumento). Una lente de difracción, para observaciones en astrofísica nuclear, no es sólo un concepto teórico, sino una realidad, gracias principalmente al proyecto CLAIRE. Asimismo, el desarrollo de la tecnología para la focalización de rayos gamma ha incentivado el desarrollo de las diferentes tecnologías de detección. Un detector apropiado para el plano focal de una lente gamma, debe disponer de capacidad de imagen, proporcionar espectroscopia de alta resolución y medir la polarización de los fotones incidentes.

El trabajo presentado en esta tesis comprende tanto la óptica de focalización como el detector del plano focal. Con respecto a la óptica, se presenta el ensayo realizado con el prototipo CLAIRE, mediante el cual se ha confirmado los principios de una lente de difracción. En cuanto al plano focal, esta investigación se ha desarrollado principalmente en el marco de estudio de las misiones espaciales GRI (2007) y DUAL (2010), propuestas a la ESA dentro del programa “Cosmic Vision 2015-2025”. En el marco de la misión GRI, se presenta una configuración para el detector del plano focal basado en detectores pixelados de Cd(Zn)Te, al tiempo que se investiga y desarrolla un primer prototipo de detector pixelado de CdTe. *Cabe destacar que el sistema de detección propuesto fue registrado con éxito mediante una patente europea, y está siendo desarrollado para su aplicación en medicina nuclear.* En relación a la propuesta DUAL, se presenta un estudio del ruido instrumental obtenido mediante simulaciones numéricas con el fin de precisar la sensibilidad del instrumento (basado en detectores de Germanio) propuesto en esta misión. Más allá de las tecnologías consideradas en GRI y DUAL, una amplia variedad de detectores pueden ser explorados, bien para el plano focal de una lente de difracción o bien como sistemas de detección por sí mismos. En este sentido, se ha ampliado el espectro de tecnologías y se ha incluido un estudio sobre detectores basados en xenón líquido.

En esta tesis se ha realizado un trabajo de investigación y desarrollo con tecnologías vanguardistas propuestas para la próxima generación de telescopios de rayos gamma. Esta instrumentación debe enfrentarse al reto de alcanzar la sensibilidad requerida para dar respuesta a las cuestiones aun no resueltas por la astrofísica de rayos gamma en el rango de energía de las transiciones nucleares. El desarrollo tecnológico, ha impactado no solo a el campo de instrumentación para astrofísica nuclear, sino a otros campos donde el desarrollo de detectores de radiación es fundamental, como la medicina nuclear. Una de las principales líneas de actuación derivadas de este trabajo, ha sido el estudio de un polarímetro basado en detectores de Cd(Zn)Te (propuesta COSPI).

1. Caroli, E. and **Alvarez**, J. M. et al., A 3D CZT hard x-ray polarimeter for a balloon-borne payload, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 8443, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2012.
2. Campana, R. and Feroci, M. and Del Monte, E. and Brandt, S. and Budtz-Jørgensen, C. and Lund, N. and **Alvarez**, J. and Hernanz, M. and Perinati, E., The LOFT (Large Observatory for X-ray Timing) background simulations, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 8443, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2012.
3. von Ballmoos, P. and **Alvarez**, J. et al., A DUAL mission for nuclear Astrophysics, *Experimental Astronomy*, pp-24, 2012.
4. Gálvez, J. and Hernanz, M. and **Alvarez**, J. M. et al., Development and performance of a gamma-ray imaging detector, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 8443, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2012.
5. **Alvarez** J.M., Galvez J.L., Hernanz M., et al, CdTe/CZT Pixel Detector for Gamma-Ray Spectrometry with Imaging and Polarimetry Capability in Astrophysics, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, pp 4611-4615 (2011).
6. Caroli E., **Alvarez** J.M, et al., A Balloon-Borne 3D CZT Scattering Polarimeter for Hard X-Ray Astrophysics, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, (2011).
7. **Alvarez** J.M., Galvez J.L., Hernanz M., et al. Imaging detector development for nuclear astrophysics using pixelated CdTe, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - Section A* 623 (1): 434-436 (2010).
8. von Ballmoos P., **Alvarez** J.M., et al. The DUAL mission concept, *Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE)* 8145 (2011).
9. Feroci, et al, (including **Alvarez** J.M) *Experimental Astronomy*, pp. 39-+, 2011
10. Barriere N., von Ballmoos P., Skinner G., Smither B., Bastie P., Hinglais E., Abrasimov N., **Alvarez** J.M., et al., MAX: Development of a Laue diffraction lens for nuclear astrophysics, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A* 567: 333-336 (2006).
11. von Ballmoos,P., Halloin,H., Evrard,J., Skinner,G., Abrosimov,N., **Alvarez**, J.M. et al., CLAIRE: First light for a gamma-ray lens, *Experimental Astronomy* 20: 253-267 (2005).
12. Barrière,N., von Ballmoos,P., Halloin,H., Abrosimov, N., **Alvarez**, J.M.,et al., MAX , a Laue diffraction lens for nuclear astrophysics, *Experimental Astronomy* 20: 269-278 (2005).
13. von Ballmoos,P., Halloin,H., Evrard,J., Skinner,G., Abrosimov,N., **Alvarez**, J.M., et al., CLAIRE's first light, *New Astronomy Reviews* 48: 243-249 (2004).
14. **Alvarez** J.M. et al., Galvez J.L., Hernanz M., Isern J., Lozano M., Pellegrini G., Cabruja E., Ullan M., Chmeissani M. Research and development of a gamma-ray imaging spectrometer in the MeV range in Barcelona, *Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE)* 7732 : 77324P (2010).
15. L. Natalucci, **Alvarez** J.M. Barriere, E. Caroli,, R. M. Curado da Silva, S. Del Sordo, S. Di Cosimo, M. Frutti, Hernanz, M., M. Lozano, E. Quadriini, G. Pellegrini, J. B. Stephen, P. Ubertini, M. C. Uslenghi, A. Zoglauer, CdZnTe detector for hard x-ray and low energy gamma-ray focusing telescope, *Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE)* 7011 (2008).
16. **Alvarez**, J.M., Aprile E., Giboni K., Santorelli R., Performance of a LAAPD in the detection of scintillation light from liquid xenon, *Technical Note at the Astrophysics Laboratory (Nevis Laboratory), Columbia University* (2007).
17. **Alvarez**, J.M., Aprile E., Giboni K., Santorelli R., Tests of a Silicon Photomultiplier, SiPM, immersed in Liquid., *Technical Note at the Astrophysics Laboratory (Nevis Laboratory), Columbia University* (2007).
18. **Alvarez**, J.M., Halloin,H., Hernanz,M., von Ballmoos,P., Skinner,G., Abrosimov,N., Smither,R.K., Vedrenne,G. Long distance test of the CLAIRE gamma-ray lens, *ESA-SP552: Proceedings of the 5th Integral, Science Workshop: 757-+* (2004).
19. Halloin,H., von Ballmoos,P., Evrard,J., Skinner,G, **Alvarez**, J.M., Hernanz,M., Abrosimov,N.,Bastie.P, Hamelin,B., Jean,P., Knödlseder,J., Smither,R.K.,and Vedrenne,G., Gamma-Ray Astronomy starts to see CLAIRE: First Light for a Crystal Diffraction Telescope, *ESA-SP552: Proceedings of the 5th Integral, Science Workshop: 739-+* (2004)
20. Halloin, H., von Ballmoos, P., Evrard, J., Skinner, G. K., Hernanz M., Abrosimov, N. V., Bastie, P., Hamelin, B., Lonjou, V., **Alvarez** J.M., Laurens, A., Jean, P., Knödlseder, J., Smither, R. K., Vedrenne, G., CLAIRE gamma-ray lens: flight and long distance test results, *Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE)* 5168: 471-481 (2004).
21. von Ballmoos,P., Halloin,H., Skinner,G.K., Smither,R.K., Paul,J., Abrosimov,N., **Alvarez**,J.M., Astier,P., Bastie,P., Barret,D., Bazzano,A. Blanchard,A. ,Boutonnet,A., Brousse,P., Cordier,B., Courvoisier, T.,DiCocco,G., Giuliani,A., Hamelin,B., Hernanz,M., Jean,P., Isern,J., Knödlseder, J.,Laurent, P.,Lebrun, F.,Marcowith,A., Martinot,V., Natalucci,L., Olive,J.F., Pain,R., Sadat,R., Sainct,H., Ubertini,P., Vedrenne,G., MAX – a gamma-ray lens for nuclear astrophysics, *Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE)* 5168: 482-491 (2004).