

Resumen

La misión LISA Pathfinder ha allanado el camino hacia la astronomía espacial de ondas gravitacionales. No solo probó la tecnología que necesita un observatorio espacial similar a LISA, sino que también estudió y analizó las fuerzas no gravitacionales que aparecen entre dos masas de prueba en caída libre. De hecho, después de aproximadamente un año y medio de misión (incluidas las fases de puesta en servicio, operaciones científicas y extensión), el satélite midió un ruido residual de la aceleración entre las masas de $(1.74 \pm 0.05) \text{ fm s}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ por encima de 2 mHz. Es una mejora de aproximadamente un factor 15 con respecto al requerimiento de LISA Pathfinder establecido antes de la misión, y un factor 5 con respecto al requerimiento de LISA en ese momento. Este logro ha sido posible gracias al hecho de que la nave espacial tenía diferentes subsistemas que, además de detectar y actuar sobre los 15 grados de libertad del sistema compuesto por las masas de prueba y el satélite, permitieron realizar experimentos para estimar y restar las diversas perturbaciones.

Las fluctuaciones térmicas fueron una de las fuentes de perturbación que modificaron la aceleración relativa entre ambas masas de prueba. Dependiendo de si inducen fuerzas reales en las masas o solo cambios en la longitud del camino óptico, distinguimos dos tipos de perturbaciones térmicas, a saber: las que están alrededor de las masas de prueba y que producen fuerzas reales sobre ellas, y las que aparecen en ubicaciones como las ventanas ópticas o los puntales (contribuciones termo-ópticas y termoelásticas), donde estas fluctuaciones térmicas pueden producir distorsiones, que a su vez cambian la longitud del camino óptico del láser. Con el objetivo de monitorizar y analizar la temperatura a bordo del satélite, éste estaba equipado con 24 sensores térmicos y 14 calentadores distribuidos alrededor de las partes más críticas del instrumento. Con los sensores térmicos medimos la temperatura en esos lugares y con los calentadores estimulamos térmicamente aquellas componentes donde podrían aparecer los dos tipos de perturbaciones térmicas comentadas anteriormente.

En esta tesis, además de mostrar los principales resultados obtenidos durante LISA Pathfinder, me focalizo en la temperatura. Mostraré cómo evolucionó la temperatura a lo largo de la misión en sus diferentes fases y la estabilidad térmica que logramos, que fue, en términos de ruido espectral de amplitud, $10 \mu\text{K}/\sqrt{\text{Hz}}$ en la banda $1 \text{ mHz} < f < 30 \text{ mHz}$. Además, presento los diferentes experimentos en vuelo realizados para analizar y estimar las contribuciones termo-ópticas y termoelásticas, lo cual nos permite mostrar su impacto en el ruido de aceleración diferencial total: aproximadamente $10^{-18} \text{ m s}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ para los efectos termo-ópticos, y aproximadamente $3 \cdot 10^{-18} \text{ m s}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ para los efectos termoelásticos a 0.05 mHz. Finalmente, discutimos las implicaciones de estos análisis para el futuro observatorio de ondas gravitacionales, LISA.

Francisco Rivas García