

Las ondas gravitacionales como ondas no lineales (Gravitational waves as nonlinear waves)

Francisco R. Villatoro

Dpto. Lenguajes y Ciencias de la Computación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, Doctor Ortiz Ramos s/n, 29071 Málaga (Spain)
email: villa@lcc.uma.es

URL: <http://goo.gl/8S4DKB>, Blog: <http://francis.naukas.com>

Resumen

Los interferómetros de Advanced LIGO han observado las ondas gravitacionales producidas por la fusión de dos agujeros negros [1]. En Livingston (Louisiana, EE.UU.) y en Hanford (Washington, EE.UU.) se detectaron sendas señales casi idénticas con una relación señal-ruido de 24. Su origen se ha identificado con la fusión de dos agujeros negros de unas 36 y 29 masas solares, que ha dado lugar a un único agujero negro de unas 62 masas solares. El suceso astrofísico más violento jamás observado.

Las ondas gravitacionales son una solución de las ecuaciones de Einstein para campo débil en el vacío [2]. En esta aproximación se estudian como si fueran ondas lineales. Sin embargo, las ondas gravitacionales propagan energía y momento, la fuente de la gravitación de Einstein. Por tanto, las ondas gravitacionales son ondas no lineales [3, 4]. De hecho, la frecuencia de la señal observada por Advanced LIGO vara, un fenómeno intrínsecamente no lineal.

Los agujeros negros son soluciones de tipo solitón de las ecuaciones de Einstein para el vacío [5]. La fusión de dos agujeros negros se puede interpretar como la fusión de dos solitones. Como en toda ecuación no integrable, este proceso no lineal genera radiación. Por ello, la generación de ondas gravitacionales requiere considerar efectos no lineales.

Abstract

The interferometers of Advanced LIGO have detected gravitational waves generated by the fusion of two black holes for the first time [1]. On September 14, 2015, the instruments in Livingston (Louisiana, USA) and Hanford (Washington, USA) detected practically the same signal with a signal-to-noise ratio of 24. The origin was the fusion of two black

holes with about 36 and 29 solar masses, resulting in new one with about 62 solar masses. In the process the energy of 3 solar masses was emitted in gravitational waves, the most violent astrophysical event recorded to date.

Gravitational waves solve the weak-field approximation of the Einstein equations in vacuum [2]. In this limit, they evolve as linear waves. Since the energy-momentum tensor is the source of Einstein's gravitation and gravitational waves propagate energy and momentum, gravitational waves are intrinsically nonlinear waves [3, 4]. In fact, the frequency of the signal observed by Advanced LIGO detectors changes, a nonlinear phenomenon.

Black holes are soliton solutions (or self-similar solutions) of Einstein's equations in vacuum [5]. Their fusion can be interpreted as that of two (nonintegrable) solitons, hence this phenomenon emits low-amplitude radiation. Such gravitational waves propagate in spacetime like linear waves, but their generation requires the inclusion of nonlinear effects.

Keywords: Nonlinear waves, Advanced LIGO, gravitational waves

References

- [1] B.P. Abbott *et al.* (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Phys. Rev. Lett.*, 116:061102, 2016.
- [2] M. Maggiore. *Gravitational Waves: Volume 1: Theory and Experiments*, Oxford University Press (2007).
- [3] F. Canfora, G. Vilasi, and P. Vitale. Nonlinear gravitational waves and their polarization. *Phys. Lett. B*, 545:373-378, 2002.
- [4] R. Aldrovandi, J.G. Pereira, R. da Rocha, and K.H. Vu. Nonlinear Gravitational Waves: Their Form and Effects. *Int. J. Theor. Phys.*, 49:549-563, 2010.
- [5] V. Belinski, and E. Verdaguer. *Gravitational Solitons*, Cambridge University Press (2004).