

Las matemáticas de la materia oscura

Las ecuaciones de la estabilidad de las galaxias o por qué el cielo no cae sobre nuestras cabezas

EDUARDO BATTANER / JUAN SOLER 01/04/2009

En la investigación del universo es una necesidad disponer de modelos matemáticos eficaces para contrastar las hipótesis y las observaciones, a la vez que favorece la generación de avances centrales en matemáticas. La fantástica relación entre modelización y realidad en este campo ha atraído históricamente no sólo a **Newton**, sino también a Tales, Pitágoras, Aristarco, Copérnico, Galileo, Kepler, Huyghens, Euler, Lagrange, Laplace, Vlasov, Maxwell, Boltzmann y Einstein.

La materia oscura es de composición desconocida y no emite o refleja radiación electromagnética como para ser observada directamente

Uno de los problemas cruciales en este ámbito y que constituye la motivación de este artículo es el de la estabilidad de las galaxias. Las interacciones complejas gravitacionales entre las partículas de materia visible y no visible hacen difícil imaginar una galaxia en equilibrio o, como dirían Asterix y Obelix, "¿se nos caerá el cielo sobre nuestras cabezas?".

La materia no visible

¿Qué es eso de la materia no visible? En los movimientos de las galaxias, supuesto que únicamente existiese materia visible, se ha observado que la energía cinética total es mucho mayor que la esperada; en particular el gas intergaláctico alejado del centro de las galaxias tiene velocidades mucho mayores que las que podría esperarse de la masa visible. En consecuencia, la dinámica de la galaxia no se puede explicar sólo mediante la materia visible. Este hecho y otras observaciones sugieren el concepto de materia oscura, es decir, de materia de composición desconocida que no emite o refleja radiación electromagnética como para ser observada directamente, pero cuya existencia puede inferirse a partir de los efectos gravitacionales que causa en la materia visible -estrellas, gas o galaxias-.

Sólo aproximadamente el 4% de la densidad de energía total en el universo (inferido de los efectos gravitacionales) se puede observar directamente; el resto es materia y energía oscura, 24% y 72%, respectivamente. La materia oscura juega por lo tanto un papel central en la formación de estructuras y la evolución de galaxias. La materia oscura asociada a las galaxias forma los llamados halos de materia oscura. ¿Es la materia oscura la responsable del equilibrio galáctico?

Los primeros modelos matemáticos de configuración de galaxias en los que se incorporan halos de materia oscura se basan en el estudio de la interacción gravitatoria de N-cuerpos. Los problemas de dinámica de N-cuerpos tienen su origen en la mecánica de Newton y Lagrange, han motivado importantes estudios a lo largo de la historia, siendo una de sus aplicaciones la de situar satélites artificiales en órbitas estables con respecto a la influencia gravitacional de la Tierra y la Luna.

Cuando el número de cuerpos es muy grande (en nuestro caso hablamos de miles de millones) el problema debe abordarse mediante técnicas de aproximación numérica.

El sistema de ecuaciones 'Boltzmann-Poisson'

Nuestro punto de vista ha consistido en asociar a un determinado tipo de soluciones de un sistema de ecuaciones llamado *de Boltzmann-Poisson* el problema de encontrar configuraciones estables para galaxias con halos de materia oscura. El modelo incorpora las interacciones gravitacionales de un número muy grande de cuerpos y, por lo tanto, la estructura interna asociada a las galaxias.

La colaboración entre astrofísicos y matemáticos, potencialmente interesante, se convierte en fértil

cuando el resultado concuerda, con errores inferiores al 3%, con los datos observables. Además, los resultados trascienden a estos ajustes y demuestran ser de utilidad para efectuar predicciones en los límites de aplicabilidad de los modelos de N-cuerpos (en el centro y en los límites de los halos); asimismo son más flexibles y versátiles, ya que no sólo incluyen configuraciones esféricas sino también elípticas o espirales que están en el ámbito de las observaciones. Estas soluciones son estables ya que son soluciones de mínima energía y máxima entropía (una medida del desorden). Así que, por ahora, parece que el cielo no se caerá sobre nuestras cabezas.

En conclusión, sabemos aún bastante poco sobre este tema, quizás sólo una cosa: hay mucho trabajo multidisciplinar por hacer y éste es realmente fascinante.

Eduardo Battaner y Juan Soler son, respectivamente, catedráticos de Astronomía y Astrofísica y de Matemática Aplicada de la Universidad de Granada