

El lenguaje de la naturaleza

La **mecánica cuántica** nació hace aproximadamente un siglo. Gracias a ella, disponemos de la descripción del mundo microscópico más completa y predictiva de la historia. El modelo estándar de la física de partículas describe la dinámica de todas las partículas elementales conocidas a partir de tres interacciones fundamentales. Sin embargo, los físicos suelen achacarle dos carencias básicas. En primer lugar, no explica por qué la naturaleza parece haberse encaprichado por ese conjunto de partículas e interacciones. Por otra parte, el modelo estándar no da cuenta de la cuarta interacción fundamental: la gravitación.

La formulación moderna de la gravedad nos la proporciona la teoría de la relatividad general, según la cual la masa y la energía modifican las propiedades geométricas del espaciotiempo circundante. Además de todos los efectos gravitatorios habituales, la teoría describe de manera satisfactoria la evolución del universo a gran escala. No obstante, su problema radica en las profundas inconsistencias matemáticas que aparecen al intentar formular una versión de la teoría compatible con la mecánica cuántica.

Los físicos cuentan con muy buenas razones para pensar que también la gravedad debería quedar descrita por un formalismo cuántico. Generaciones de mentes brillantes llevan decenios persiguiendo ese objetivo. En el camino, han aparecido cuestiones de una riqueza y profundidad sorprendentes. Algunas son relativas a la estructura microscópica del espaciotiempo; otras, al origen, evolución y estructura del universo como un todo.

El presente monográfico intenta ofrecer al lector una muestra del recorrido que acabamos de esbozar. La primera parte comienza con una introducción a la teoría cuántica de campos perturbativa. Narrados en clave histórica, los conceptos que expone el artículo de David Kaiser constituyen el lenguaje natural de la física de partículas moderna. Chris Quigg se sirve de una perspectiva experimental para introducir el modelo estándar (con énfasis en la ruptura de simetría electrodébil y la necesidad del bosón de Higgs) y una de sus extensiones más estudiadas (la supersimetría).

Luis E. Ibáñez presenta una introducción a la teoría de cuerdas, la extensión de la física de partículas y la candidata a una teoría cuántica de la gravedad que más atención ha recibido en las últimas décadas. El artículo apareció en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA cuando la teoría vivía lo que ha dado en llamarse su «segunda revolución»: la debida al descubrimiento de las relaciones de dualidad (equivalencia) entre las diferentes teorías de cuerdas. Es este un concepto central a la estructura formal de la teoría que, además, motiva las consideraciones filosóficas que Stephen Hawking y Leonard Mlodinow exponen en el breve ensayo que reproducimos aquí.

En lo que se refiere a algunos aspectos cuánticos de la gravitación, el artículo de Bernard J. Carr y Steven B. Giddings llama la atención sobre la importancia que revisten las propiedades cuánticas de los agujeros negros. Aunque se suele pensar en ellos como en gigantescos objetos astrofísicos ajenos a las leyes de la mecánica cuántica, el resultado semiclásico de Stephen Hawking de 1974 sobre sus procesos de emisión los convirtió en una «piedra de Rosetta» de la gravitación cuántica. Su estudio ha propiciado algunos de los avances más profundos en el campo, como el principio holográfico.

En cuanto a otras implicaciones cuánticas sobre la estructura microscópica del espaciotiempo, hemos seleccionado aquí

un ejemplo proveniente de la teoría de cuerdas (la geometría no conmutativa) y otro ajeno a ella (la naturaleza fractal del espaciotiempo, según la propuesta de las triangulaciones dinámicas causales).

El alcance de estas investigaciones no se limita al mundo de lo microscópico. Tiene también implicaciones cosmológicas. La física de partículas y la gravedad cuántica hubieron de dejar su impronta en los primeros instantes tras la gran explosión, con consecuencias para la evolución y el futuro del universo. Pero algunos modelos van más allá y postulan la existencia de otros universos. Motivados por las cuestiones que plantea el principio antrópico, Alejandro Jenkins y Gilad Pérez exploran la variedad de leyes físicas en otros universos. Por último, Dieter Lüst nos explica por qué la teoría de cuerdas parece requerir un número exorbitante de universos; en una exposición no exenta de cierta autocrítica, desarrolla las evidentes cuestiones filosóficas que suscita la idea.

¿Veremos en el futuro alguna consecuencia experimental de tales especulaciones teóricas? Las perspectivas experimentales que ofrecerá el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN y las reflexiones al respecto de Steven Weinberg, uno de los padres del modelo estándar, cierran este monográfico.

$$\mathcal{L} = \frac{1}{4\pi^2} \int d^4x \sqrt{-g} \left[-\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \psi \partial_\nu \psi + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \chi \partial_\nu \chi + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \eta \partial_\nu \eta + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \zeta \partial_\nu \zeta + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \xi \partial_\nu \xi + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \eta \partial_\nu \eta + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \zeta \partial_\nu \zeta + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \xi \partial_\nu \xi \right]$$

$$f_{\mu\nu}^a = 2 \partial_{[\mu} A_{\nu]}^a + i f_{bc}^a A_\mu^b A_\nu^c$$

$$D_\mu = \partial_\mu + i g A_\mu^a T^a$$

$$g_{\mu\nu} = \frac{1}{2} (g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}) = \partial_\mu g_{\nu\sigma} \partial_\sigma \eta$$