

La constante de estructura fina

Uno de los últimos avances científicos del año 2020 fue una nueva medición, más precisa, de **la constante de estructura fina**. El último valor aceptado oficialmente en 2018 por el Comité de Datos sobre Ciencia y Tecnología (CODATA) es igual a $1 / 137,035999084$. El valor obtenido en diciembre de 2020 es igual a $1 / 137,035999206$. Se verá que la diferencia con el valor anterior es muy pequeña y afecta sólo a la séptima cifra decimal.

Pero ¿qué es **la constante de estructura fina**? Es una constante sin dimensiones que se define mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{e^2}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot c \cdot h}$$

Donde α es la constante de estructura fina, e la carga del electrón (o carga elemental), ϵ_0 la permitividad del vacío, c la velocidad de la luz, y h la constante de Planck.

¿Por qué es importante la constante de estructura fina? Porque da una medida de la intensidad de la interacción electromagnética (atracciones y repulsiones) entre partículas cargadas. El nombre se lo puso en 1916 su descubridor, Arnold Sommerfeld, que la obtuvo estudiando la estructura fina de las líneas espectrales del átomo de hidrógeno (de ahí su nombre). Por esa razón, también se la llama a veces **constante de Sommerfeld**.



Arnold Sommerfeld

Es usual no dar el valor de esta constante, sino su inverso, como hemos hecho más arriba. Se verá que es muy próximo a 137. De hecho, Arthur Eddington propuso en 1929 que su valor debía ser exactamente igual a 137, pero esta conjetura no fue confirmada por las medidas, cada vez más precisas, de la constante.

La constante de estructura fina tiene varias interpretaciones físicas muy interesantes. Veamos algunas:

. El cociente entre la energía necesaria para vencer la repulsión electrostática de dos electrones situados a cierta distancia, y la energía de un fotón cuya longitud de onda sea la misma distancia.

. El cociente entre la velocidad de un electrón en la primera órbita del átomo de hidrógeno y la velocidad de la luz en el vacío.

. Uno de los 19 parámetros que hay que ajustar en el modelo estándar de física de partículas, cuyo valor no viene fijado por el modelo (véase el artículo que sigue al presente, *La partícula de Dios*) [*].

. Según Richard Feynman, la inversa de esta constante sería **el máximo número atómico** de un átomo compatible con el modelo de Bohr, lo que quiere decir que no es probable que encontremos elementos con más de 137 protones en el núcleo (el máximo alcanzado hasta el momento es 118).

. La relación entre la repulsión electrostática y la atracción gravitatoria de dos partículas elementales con la masa de Planck y carga igual a la del electrón.



Arthur Eddington

Curiosamente (lo digo por la coincidencia de nombres) la **constante de estructura fina** es una de las constantes que parecen sometidas a **ajuste fino** para que la existencia de vida en el universo sea posible. Se ha calculado que, si su valor se diferenciase del que tiene en más de un 4% en cualquiera de los dos sentidos, en el interior de las estrellas, o no se produciría carbono, o no se produciría oxígeno. Sin carbono o sin oxígeno, la vida tal como la conocemos no sería posible.

Curiosamente (lo digo por la coincidencia de nombres) la **constante de estructura fina** es una de las constantes que parecen sometidas a **ajuste fino** para que la existencia de vida en el universo sea posible. Se ha calculado que, si su valor se diferenciase del que tiene en más de un 4% en cualquiera de los dos sentidos, en el interior de las estrellas, o no se produciría carbono, o no se produciría oxígeno. Sin carbono o sin oxígeno, la vida tal como la conocemos no sería posible.

Hay un debate, que se remonta a los años ochenta, sobre si esta constante es realmente constante, o si **su valor ha ido cambiando** a lo largo de la historia del universo. En 1999, estudiando las líneas espectrales de galaxias y cuásares lejanos, un equipo australiano afirmó que el valor de la constante de estructura fina ha variado en un $5,7 \times 10^{-8}$ por ciento en los últimos 10.000 a 12.000 millones de años.

Otros estudios realizados posteriormente no han dado resultados totalmente convincentes, aunque se va extendiendo la idea de que quizá la constante podría no ser tan constante como se suponía. De lo que nadie tiene la menor idea es de a qué se debe este cambio, si es que lo hay, aunque la teoría de cuerdas, que en cuarenta años no ha podido encontrar una sola confirmación convincente, sostiene que muchas de las constantes universales podrían no ser constantes, después de todo.

Manuel ALFONSECA

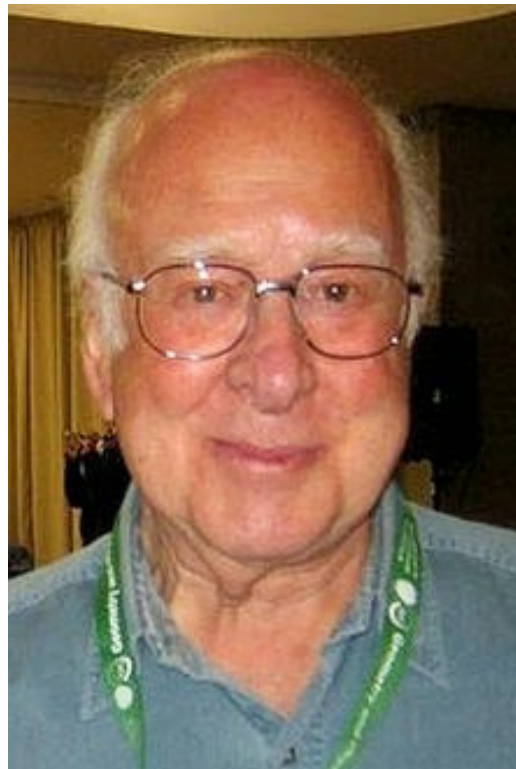
[*] La partícula de Dios

Con el descubrimiento hace pocos años del **bosón de Higgs**, la prensa generalista y algunos científicos han lanzado las campanas al vuelo. Tal como lo presentan, este descubrimiento completa la teoría estándar de física de partículas, por lo que ya lo sabemos todo y no necesitamos a Dios. De ahí el nombre impuesto al bosón de Higgs, con el que Higgs, por cierto, no está de acuerdo.

Es verdad que el descubrimiento de una partícula cuya existencia se predijo casi medio siglo antes es un éxito espectacular de la teoría estándar, comparable al éxito que alcanzó en 1846 la teoría de la gravitación universal de Newton con el descubrimiento del planeta Neptuno, cuya existencia había sido predicha poco antes por Le Verrier y Adams. También entonces se dijo que **ya lo sabemos todo**.

Quedaba, es verdad, un cabo suelto, una discrepancia de apenas 43 segundos de arco por siglo en la precesión de la órbita de Mercurio. Le Verrier intentó repetir su éxito y predijo que esa discrepancia se debía a un planeta desconocido situado entre Mercurio y el Sol, al que incluso dio nombre: Vulcano. Durante 60 años, los astrónomos buscaron el misterioso planeta sin encontrarlo, porque el problema, en este caso, estaba en la propia teoría de Newton, que acabó convirtiéndose en una primera aproximación y pasó el testigo a una nueva teoría que sí explicaba la discrepancia: **la relatividad general de Einstein**.

¿Podría pasarle algo parecido a la teoría estándar de física de partículas? ¿Vendrá también su mayor éxito seguido por su primer fracaso? ¿Queda algún cabo suelto en esta teoría, algo que aún no hemos sabido resolver?



Peter Higgs



Urbain Le Verrier

La respuesta a la última pregunta es afirmativa. La teoría estándar de física de partículas tiene pendientes las siguientes cuestiones:

- 1 No se sabe por qué las dos familias de quarks tienen carga $2/3$ y $-1/3$, ni por qué las dos familias de leptones tienen carga -1 (los electrones) y 0 (los neutrinos).
- 2 No se ha logrado integrar de modo satisfactorio la interacción fuerte con la electro-débil.
- 3 La interacción gravitatoria queda fuera del modelo. En consecuencia, la teoría estándar de física de partículas y la relatividad general de Einstein son incompatibles.
- 4 Esta teoría depende de 19 constantes independientes. Muchos físicos piensan que son demasiadas.
- 5 No explica por qué en el universo hay materia, pero no antimateria.
6. Predice que la energía del vacío es infinita. Para resolver esta anomalía, los físicos aplican el método de **renormalización**, que esencialmente consiste en dividir por infinito, lo que está prohibido por las matemáticas.
7. El campo de Higgs no explica que los neutrinos tengan masa (como parecen tenerla, aunque sea muy pequeña).
8. Si existe la materia oscura de que hablan los cosmólogos, estará formada por partículas aún desconocidas que no están integradas en el modelo.
9. No se sabe qué es la energía oscura de que nos hablan los cosmólogos.
10. Finalmente, no se ha probado que la teoría estándar de física de partículas sea consistente (o sea, que no contenga contradicciones).

Three Generations of Matter (Fermions)				
	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0
spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	+3.2 eV/c ²	+0.17 MeV/c ²	+13.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	+1
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm W boson

125-127
0
0
H
Higgs

Gauge Bosons

Modelo estándar de física de partículas

Ante esta situación, anunciar que ya lo sabemos todo parece un acto de arrogancia ($\alpha\beta\rho\iota\varsigma$) inconcebible. En Grecia clásica sabían muy bien a dónde suele llevar esto.

Manuel ALFONSECA