

¿Qué significa la masa?

IDE-022 · Ideas fundamentales

Ensayos conceptuales para El universo y sus observadores

Autor: Juan Segurola

Versión: v0.7 ES · 17 de septiembre de 2026

Estado: Versión de publicación

Forma del artículo: Ensayo conceptual

Escala / contexto: De las partículas elementales al comportamiento gravitatorio de los cuerpos

Límite: La masa como propiedad física: qué es, de dónde viene y qué dice y qué no dice $E = mc^2$. Qué es una partícula corresponde a IDE-020 y qué es un campo a IDE-021

Trabajos relacionados: IDE-023, IDE-020, IDE-021

Perfil epistémico: Conocimiento establecido con límites interpretativos

Licencia en publicación: Todos los derechos reservados

Resumen del artículo

La masa no es la cantidad de materia de un objeto, y la masa de la materia ordinaria no se la da principalmente el campo de Higgs. La masa invariante es una propiedad de todo un sistema, definida a partir de su energía y su momento totales, y no es aditiva: un sistema ligado suele tener menos masa que sus partes separadas, y un cuerpo caliente más que uno frío.[1] El protón ilustra ambas cosas. Sus quarks aportan solo una fracción pequeña de su masa; el resto viene de la energía de la interacción fuerte que los liga, como confirman hoy los cálculos en red desde primeros principios.[4] Este artículo separa la masa invariante del uso obsoleto de masa relativista, enuncia de qué da cuenta realmente el mecanismo de Higgs y cierra con la igualdad contrastada entre masa inercial y gravitatoria.[3,5]

En 60 segundos

En relatividad especial la energía y el momento de un sistema dependen del sistema de referencia, y la combinación que no depende es su masa invariante. Okun sostuvo que esa única magnitud debe llevar el nombre y que la masa dependiente de la velocidad debe abandonarse, porque conservarla invita a la imagen falsa de un objeto que se vuelve más masivo al acelerarse cuando lo que cambia es su energía.[1] El resultado de Einstein de 1905 se lee entonces bien: un cuerpo que emite energía pierde masa, así que la masa mide contenido energético y no es una sustancia convertible en energía.[2] La materia ordinaria lo muestra con nitidez. La cromodinámica cuántica en red calcula masas de hadrones desde primeros principios y encuentra que la mayor parte de la masa del protón es la energía del campo gluónico y el movimiento de sus quarks, no las masas en reposo de los quarks.[4] El mecanismo de Higgs da cuenta de las masas de los bosones gauge débiles y, mediante acoplamientos aparte, de los fermiones elementales, que es una porción mucho menor de la masa que te rodea.[3,6]

Por qué importa esta pregunta

Dos afirmaciones sobre la masa se repiten en todas partes y ambas son falsas de maneras que importan. La primera es que $E = mc^2$ describe materia que se convierte en energía, lo que confunde una identidad con un proceso de conversión. La segunda es que el campo de Higgs da a las cosas su masa,

cierto para las partículas elementales y falso para los átomos que componen a una persona, donde la inmensa mayoría de la masa es energía de ligadura. Corregirlas no es pedantería: la primera gobierna cómo se explica la energía nuclear, y la segunda decide si el descubrimiento del Higgs se entiende.

1. La masa invariante pertenece a un sistema

En relatividad especial la energía y el momento dependen del sistema de referencia, y la combinación invariante de ambos es la masa del sistema. Es la misma para todo observador inercial, que es lo que la convierte en propiedad del sistema y no de una descripción suya.[1]

Tampoco es aditiva. Dos fotones, cada uno sin masa, forman un sistema con masa invariante no nula si viajan en direcciones distintas, porque los momentos se cancelan en parte mientras las energías se suman. Un núcleo ligado pesa menos que sus nucleones separados en la energía de ligadura dividida por la velocidad de la luz al cuadrado. Un ladrillo caliente tiene algo más de masa que el mismo ladrillo frío.[1]

El argumento de Okun era que la palabra debe reservarse para ese invariante y que la masa relativista, magnitud que crece con la velocidad, debe abandonarse. Conservarla produce la impresión de que la velocidad vuelve más masivo un objeto en algún sentido intrínseco, cuando lo que cambia es su energía en un sistema elegido y el invariante queda intacto.[1]

En qué punto estamos

La masa invariante es la combinación independiente del sistema de referencia de la energía y el momento, y no es aditiva: la ligadura la baja y la energía interna la sube. Reservar la palabra para el invariante evita la impresión de que la velocidad hace más pesadas las cosas. Ese encuadre resuelve además qué afirma realmente la ecuación más citada de la física.

2. Qué dice $E = mc^2$ al cuadrado

El breve artículo de Einstein de 1905 pregunta si la inercia de un cuerpo depende de su contenido energético y concluye que un cuerpo que emite radiación pierde masa en proporción a la energía emitida.[2] La relación se enuncia como una equivalencia entre masa y contenido energético, no como una receta para convertir una sustancia en otra.

Leídos así, los casos habituales se vuelven directos. Un reactor nuclear no aniquila materia: convierte un sistema con más energía de ligadura en productos con menos, y la diferencia de masa aparece como energía cinética y radiación. Nada se destruyó; la contabilidad se reorganizó, y el defecto de masa mide cuánto.

La ecuación tiene además un alcance que se exagera con regularidad. En la forma que suele citarse da la energía en reposo de un sistema, y la relación general incluye el momento. Un fotón tiene masa nula, medida como compatible con cero por debajo de 1×10^{-18} eV,[6] y energía no nula, cosa imposible si la forma citada se toma como definición universal de la energía.[1] La relación completa cubre ambos casos; la abreviada no.

En qué punto estamos

El resultado de Einstein dice que un cuerpo que emite energía pierde masa, lo que hace de la masa una medida del contenido energético y no una sustancia convertible en energía. La forma citada da solo la

energía en reposo, y las partículas sin masa que transportan energía muestran por qué hace falta la relación general. Queda dónde reside realmente la masa de la materia cotidiana.

3. De dónde viene la masa ordinaria

Casi toda la masa de la materia ordinaria está en los núcleos atómicos, y casi toda esa está en protones y neutrones. Así que la pregunta de qué compone tu masa es en gran medida la pregunta de qué compone la de un protón.

La respuesta no son sus quarks. Las masas de los quarks arriba y abajo son minúsculas frente al protón, y la inmensa mayoría de su masa viene de la energía de la interacción fuerte: el campo gluónico y la energía cinética de los quarks confinados.[4] Es el principio de la sección anterior en funcionamiento, porque esa energía contribuye a la masa invariante del sistema ligado exactamente como exige la relación.

La afirmación está calculada y no simplemente enunciada. Dürr y colaboradores calcularon masas de hadrones ligeros desde la teoría subyacente con métodos de red, con las masas de los quarks y una escala global como únicas entradas, y reprodujeron el espectro observado.[4] Es una confirmación desde primeros principios de que la masa de la materia ordinaria es predominantemente energía de interacción.

En qué punto estamos

La mayor parte de la masa de la materia ordinaria es la energía de la interacción fuerte dentro de protones y neutrones, y no las masas en reposo de los quarks, y los cálculos en red reproducen el espectro hadrónico desde la teoría para demostrarlo. Ese resultado fija además el alcance del mecanismo al que más a menudo se atribuye dar masa a las cosas.

4. De qué da cuenta el mecanismo de Higgs

Higgs mostró cómo los bosones gauge pueden adquirir masa sin estropear la simetría gauge de la teoría, mediante un campo con valor esperado en el vacío no nulo.[3] El fenómeno se llama convencionalmente ruptura espontánea de la simetría gauge, y el nombre debe leerse con cuidado. Una simetría gauge local no se rompe espontáneamente en el sentido invariante gauge, y lo que puede romperse una vez fijado el gauge es un subgrupo global remanente de ella.[7] Leer ese resultado como prueba de que la simetría es una redundancia de la descripción y no un rasgo del estado físico es la lectura propia de este artículo, compartida con IDE-005. El contenido invariante gauge es que los bosones gauge se vuelven masivos. En el Modelo Estándar eso da cuenta de las masas de los bosones W y Z, y el mismo campo da masa a los fermiones elementales mediante acoplamientos aparte cuyas intensidades son parámetros libres ajustados a la medida.[6]

De lo que no da cuenta es de casi toda la masa de la habitación. La masa del electrón sí procede de su acoplamiento al campo de Higgs, y también las pequeñas masas de los quarks, pero esas masas aportan solo una fracción pequeña de la de un protón.[4,6] El mecanismo explica por qué las partículas elementales tienen masa siquiera en una teoría que de otro modo lo prohibiría, logro distinto y más específico de lo que sugiere el resumen divulgativo.

Merece la pena conservar la distinción porque sitúa el contenido real del descubrimiento. Hallar el bosón de Higgs confirmó un mecanismo concreto para un problema concreto del Modelo Estándar. No explicó de dónde viene tu peso, y decir lo contrario dificulta enunciar el resultado verdadero.

En qué punto estamos

El mecanismo de Higgs da cuenta de las masas de los bosones gauge débiles y, mediante acoplamientos aparte, de los fermiones elementales, y por eso hay partículas con masa en una teoría que de otro modo lo prohibiría. No da cuenta de casi nada de la masa de la materia ordinaria. Queda una propiedad de la masa aún sin tocar: que la misma magnitud gobierna la inercia y la gravedad.

5. Una magnitud, dos papeles

La masa aparece dos veces en la física clásica: como resistencia a la aceleración y como fuente y receptora de la gravitación. Nada en la mecánica newtoniana exige que sean el mismo número, y sin embargo el experimento las encuentra iguales con precisión extraordinaria.[5]

Esa igualdad es el principio de equivalencia débil, también llamado universalidad de la caída libre, y es el primer escalón de una jerarquía y no toda ella.[5] Añadir que el resultado de cualquier experimento local no gravitatorio es independiente de la velocidad y del lugar del laboratorio en caída libre da el principio de equivalencia de Einstein, que es lo que autoriza la descripción geométrica de la gravitación; extender el mismo enunciado a cuerpos autogravitantes y a experimentos gravitatorios da la forma fuerte, que la relatividad general satisface y la mayoría de las alternativas no. Los contrastes a lo largo de esa jerarquía están entre los experimentos más importantes de la física, y continúan porque una violación en cualquier nivel sería evidencia de física nueva.

Con esto el artículo cierra donde empezó. La masa no mide cuánta materia hay presente; es un único invariante que cuantifica el contenido energético de un sistema en su sistema en reposo, procede sobre todo de energía de interacción en la materia ordinaria, y gobierna a la vez la inercia y la gravitación. Cada una de esas cosas es una afirmación medida y no una definición.

En qué punto estamos

La masa inercial y la gravitatoria son iguales con precisión experimental extraordinaria, que es el principio de equivalencia débil y el primer escalón de una jerarquía cuya forma de Einstein autoriza la teoría geométrica, así que los contrastes continúan en todos los niveles. La masa es entonces un invariante que juega dos papeles y no una medida de cantidad de materia. IDE-023 pasa de lo que se mide a qué es medir.

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- La masa invariante es la combinación independiente del sistema de referencia de la energía y el momento de un sistema y no es aditiva: la energía de ligadura la reduce y la energía interna la aumenta.[1]
- El resultado de Einstein de 1905 establece que un cuerpo que emite energía pierde masa, así que la masa mide contenido energético en vez de nombrar una sustancia que se convierte en energía.[2]

- La mayor parte de la masa de un protón procede de la energía de la interacción fuerte y no de las masas en reposo de los quarks, y los cálculos en red reproducen el espectro de hadrones ligeros desde la teoría con las masas de los quarks y una escala como entradas.[4]
- El mecanismo de Higgs da cuenta de las masas de los bosones gauge débiles y, mediante acoplamientos aparte, de los fermiones elementales;[3,6] una simetría gauge local no se rompe en el sentido invariante gauge, y lo que puede romperse una vez fijado el gauge es un subgrupo global remanente;[7] la masa inercial y la gravitatoria son experimentalmente iguales con precisión muy alta, que es el principio de equivalencia débil.[5]

Lo que todavía no sabemos

- Por qué los acoplamientos de los fermiones al campo de Higgs, y con ellos las masas de las partículas elementales, toman los valores que toman, cosa que el Modelo Estándar parametriza en vez de explicar.[6]
- Si las masas de los neutrinos surgen por el mismo mecanismo que las de los demás fermiones o requieren estructura adicional, cuestión que sigue abierta.[6]
- Si la igualdad entre masa inercial y gravitatoria se cumple de forma exacta, algo que los experimentos siguen contrastando con precisión creciente sin garantía teórica.[5]

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- Una violación medida de la igualdad entre masa inercial y gravitatoria, por encima de la sensibilidad de los contrastes actuales y reproducida de forma independiente, falsaría el principio de equivalencia débil y, con él, el cimiento de la teoría geométrica.[5]
- Un cálculo en red desde la teoría establecida que no reprodujera el espectro hadrónico observado, con errores sistemáticos y de discretización controlados, socavaría el relato de la masa ordinaria como energía de interacción.[4]
- Un caso demostrado en el que la masa invariante de un sistema aislado cambiara con el sistema de referencia del observador, correctamente medida, contradiría la definición de masa usada en toda la física relativista.[1]

Si solo recuerdas una cosa

La masa es el contenido energético invariante de un sistema, no su cantidad de materia, y casi toda la tuya es energía de la interacción fuerte y no algo que aportara el campo de Higgs.

Artículos relacionados

- IDE-023 — ¿Qué es la observación?
- IDE-020 — ¿Qué es una partícula?
- IDE-021 — ¿Qué es un campo?

Referencias

[1] Lev B. Okun. The Concept of Mass. Physics Today 42(6), 31-36 (1989). DOI 10.1063/1.881171.

[2] Albert Einstein. Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy-Content? Annalen der Physik 18, 639-641 (1905). DOI 10.1002/andp.19053231314.

- [3] Peter W. Higgs. Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons. *Physical Review Letters* 13(16), 508-509 (1964). DOI 10.1103/PhysRevLett.13.508.
- [4] S. Dürr; Z. Fodor; J. Frison; C. Hoelbling; R. Hoffmann; S. D. Katz; S. Krieg; T. Kurth; L. Lellouch; T. Lippert; K. K. Szabó; G. Vulvert. Ab Initio Determination of Light Hadron Masses. *Science* 322, 1224-1227 (2008). DOI 10.1126/science.1163233.
- [5] Clifford M. Will. The Confrontation between General Relativity and Experiment. *Living Reviews in Relativity* 17, 4 (2014). DOI 10.12942/lrr-2014-4.
- [6] F. Takahashi et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics. *International Journal of Modern Physics A* 41, 2630011 (2026). DOI 10.1142/S0217751X26300115.
- [7] Simon Friederich. Gauge symmetry breaking in gauge theories, in search of clarification. *European Journal for Philosophy of Science* 3(2), 157-182 (2013). DOI 10.1007/s13194-012-0061-y. Preprint arXiv:1107.4664v2.