

¿Qué es una partícula?

IDE-020 · Ideas fundamentales

Ensayos conceptuales para El universo y sus observadores

Autor: Juan Segurola

Versión: v0.12 ES · 19 de septiembre de 2026

Estado: Versión de publicación

Forma del artículo: Ensayo conceptual

Escala / contexto: Física subatómica, de las firmas en detectores a la teoría cuántica relativista

Límite: El propio concepto de partícula. Qué es un campo cuántico corresponde a IDE-021, la luz en concreto a IDE-019, y el significado de la masa a IDE-022

Trabajos relacionados: IDE-021, IDE-019, IDE-022

Perfil epistémico: Conocimiento establecido con límites interpretativos

Licencia en publicación: Todos los derechos reservados

Resumen del artículo

La palabra partícula sobrevive en física casi sin nada de su contenido original. Una partícula clásica es un objeto pequeño con posición definida en cada instante que sigue una trayectoria. Los estados y las amplitudes cuánticos pueden interferir, y sus predicciones no quedan recogidas por una ontología de trayectorias de partículas clásicas. Lo que sustituye a la imagen clásica es una clasificación: Wigner mostró que los posibles estados de una partícula en una teoría cuántica relativista corresponden a representaciones irreducibles de la simetría del espaciotiempo, etiquetadas por invariantes como la masa y el espín.[1,2] Este artículo sigue qué conserva la palabra, incluido el resultado sorprendente de que el número de partículas no es una magnitud independiente del observador, y qué debe ceder. Lo que queda son sucesos discretos de detección, números cuánticos conservados y etiquetas invariantes, que es una respuesta de otro tipo que una imagen.[3,4]

En 60 segundos

Empieza por lo que sobrevive a la medida. Los detectores registran sucesos discretos con números cuánticos definidos, y esos son los hechos que un concepto de partícula debe acomodar.[5] Lo que no sobrevive es la imagen que los produce. En teoría cuántica de campos el número de partículas cambia: las interacciones crean y destruyen cuantos, así que no hay disponible un inventario fijo de objetos pequeños.[2] La identidad también cambia de carácter. Wigner clasificó los estados relativistas de una partícula por representaciones irreducibles del grupo de simetría del espaciotiempo, y por eso masa y espín son las etiquetas que persisten cuando falla la imagería clásica.[1] El resultado más fuerte es que el número de partículas no es absoluto: un detector acelerado, en el estado que un observador distinto llama vacío, registra partículas, así que qué cuenta como partícula depende del estado de movimiento del observador.[4] La palabra sobrevive; el objeto pequeño que antes nombraba, no.

Por qué importa esta pregunta

La física de partículas se presenta al público en términos de bolitas, y esa imagería es la fuente de casi toda la confusión posterior: sobre por qué las partículas de un tipo son idénticas, sobre cómo puede

crearse una a partir de energía, sobre qué ocurre entre rendijas. Sustituir la imagen por lo que la teoría dice de verdad no es precisión por la precisión. Cambia qué preguntas tienen sentido, y es lo que vuelve inteligible y no paradójico el tema del artículo siguiente, el campo del que surgen las partículas.

1. La imagen clásica y dónde falla

Una partícula clásica es un objeto idealizado con posición, momento, masa y camino. La idealización tiene un éxito enorme para planetas y bolas de billar, y sobrevive en la física cuántica como aproximación siempre que las longitudes de onda pertinentes son pequeñas frente a todo lo demás.

Falla de maneras concretas y no vagas. Los estados y las amplitudes cuánticos pueden interferir, y sus predicciones no quedan recogidas por una ontología de trayectorias de partículas clásicas.[2] Esto no excluye formulaciones que añaden posiciones definidas de partículas y su movimiento a la descripción del estado: todo el formalismo cuántico, incluidos el principio de incertidumbre y la aleatoriedad cuántica, emerge de un análisis de ese movimiento.[7] Lo que no es opcional es que la trayectoria clásica, la de valores definidos y locales, no está disponible.

La respuesta correcta no es declarar que las partículas son ondas. Es preguntar qué sí proporciona la teoría: sucesos discretos de detección, números cuánticos conservados y estados clasificados por propiedades que sobreviven a los cambios de sistema de referencia. Es una respuesta de otro tipo que una imagen, y es lo que desarrolla el resto del artículo.

En qué punto estamos

Los estados cuánticos pueden estar extendidos e interferir, por lo que una ontología de trayectorias clásicas resulta inadecuada, aunque existen formulaciones que restauran posiciones definidas al precio de la no localidad.[2,7] Sustituir la imagen exige preguntar qué proporciona la teoría en su lugar. Lo primero que proporciona es una clasificación, y viene de la simetría y no de la imaginaria.

2. Partículas como representaciones de la simetría

Wigner preguntó qué estados cuánticos son posibles en una teoría compatible con la relatividad especial, y lo respondió clasificando las representaciones unitarias irreducibles del grupo de simetría del espaciotiempo.[1] La clasificación es exhaustiva, y las etiquetas que emergen son la masa y una magnitud de tipo espín: precisamente las propiedades con que se identifican las especies de partículas.

Es un resultado fuerte y conviene enunciarlo con cuidado. No dice que las partículas sean representaciones en el sentido de estar hechas de matemáticas. Dice que, sea lo que sea un estado de una partícula, sus propiedades de transformación bajo cambios de sistema inercial están fijadas, y que esas propiedades vienen en una lista discreta.[2] La masa y el espín son etiquetas invariantes porque son aquello con lo que se construye la clasificación.

Explica además un hecho que de otro modo resulta misterioso. Wigner clasifica las representaciones irreducibles del grupo de Poincaré mediante etiquetas invariantes.[1] Dos electrones son indistinguibles. No es una afirmación de que ocupen el mismo estado, cosa que en general no hacen: es una afirmación sobre las etiquetas. La teoría codifica la consecuencia

admitiendo solo estados de varias partículas con un comportamiento definido al intercambiar dos de ellas. La identidad no es un logro de fabricación sino una consecuencia de qué es una partícula.

En qué punto estamos

Wigner clasifica las representaciones irreducibles del grupo de Poincaré mediante etiquetas invariantes. La clasificación trata de estados individuales. Qué le ocurre al recuento cuando las partículas interactúan es otro asunto y más extraño.

3. El número de partículas no es fijo

En una teoría cuántica relativista el número de partículas no se conserva. Las interacciones crean y aniquilan cuantos, y la descripción matemática natural usa operadores que los añaden y los quitan de un estado.[2] Un electrón y un positrón pueden aniquilarse en fotones; una colisión lo bastante energética produce partículas que antes no estaban.

Aquí la imagen clásica se vuelve insostenible y no meramente inexacta. Un objeto pequeño no deja de existir al encontrarse con otro objeto pequeño, pero una excitación cuántica sí. Lo que se conserva no es el recuento sino un conjunto de números cuánticos, y esos restringen qué procesos son posibles.[5]

Las entidades compuestas e inestables complican más la contabilidad. Un protón es un estado ligado cuya descripción interna no es una lista fija de constituyentes; una resonancia se identifica por un pico en una sección eficaz con una anchura relacionada con su vida media, y llamarla partícula es un enunciado sobre un polo de una amplitud de dispersión y no sobre un objeto que persiste.[5] La palabra cubre un espectro de casos, y su extremo más firme es la clasificación, no la imáginería.

En qué punto estamos

El número de partículas no se conserva en teoría cuántica relativista: las interacciones crean y destruyen cuantos, y lo que persiste son números cuánticos conservados y no un recuento. Las resonancias inestables se identifican por rasgos de las amplitudes de dispersión y no por su permanencia. Pero incluso el recuento supone algo que la teoría no siempre proporciona.

4. El número de partículas depende del observador

Definir cuántas partículas contiene un estado exige separar los grados de libertad del campo en partes de frecuencia positiva y negativa, y esa separación depende de la noción de tiempo empleada. Para observadores inerciales en espaciotiempo plano todos coinciden, así que la cuestión no aparece en la física de laboratorio ordinaria.

Unruh mostró que sí aparece en general. Un detector que acelera a través del estado que los observadores inerciales llaman vacío detecta partículas en él.[4] Las dos descripciones no se contradicen: son respuestas distintas e igualmente válidas a una pregunta que presuponía un sistema de referencia.

La consecuencia para el concepto es nítida. El número de partículas no es una propiedad invariante de un estado como sí lo es la carga. Se define relativo a una elección, y en espaciotiempos generales, incluidos los cosmológicos, no tiene por qué existir una elección privilegiada. La teoría cuántica

algebraica de campos toma como base redes de álgebras de observables locales e introduce conceptos de partícula de forma asintótica cuando resultan aplicables.[3]

En qué punto estamos

Cuántas partículas contiene un estado depende de la separación de los modos del campo y por tanto del observador, y el resultado de Unruh muestra un detector acelerado detectando partículas en el vacío inercial. El número de partículas no es entonces invariante como lo es la carga. Queda decir qué sigue haciendo el concepto de forma fiable.

5. Qué sobrevive

Tres cosas sobreviven intactas. Los sucesos de detección son discretos: un detector cuenta o no cuenta, y una vez que el aparato se acopla a un entorno ese registro es estable.[6] Los números cuánticos se conservan y restringen lo que puede ocurrir. Y las etiquetas de Wigner siguen siendo las propiedades identificativas de una especie, y por eso una tabla de partículas es una tabla de masas, espines y cargas y no de formas y tamaños.[1,5]

Lo que se descarta es la imagen: la trayectoria, la posición definida entre sucesos, el inventario fijo y la idea de que las partículas son el mobiliario fundamental con el que se construyen los campos. La teoría cuántica algebraica de campos toma como base redes de álgebras de observables locales e introduce conceptos de partícula de forma asintótica cuando resultan aplicables.[3]

Esa inversión es el punto donde este artículo se detiene. Una partícula se describe mejor como una excitación discreta, clasificada por simetría, que un detector puede registrar, y la pregunta siguiente natural es de qué es excitación, que es el tema de IDE-021.

En qué punto estamos

Lo que sobrevive es la discreción en la detección, los números cuánticos conservados y las etiquetas invariantes de masa y espín; lo que se descarta es la trayectoria, el inventario fijo y la idea de que las partículas son la estructura primaria. IDE-021 recoge de qué es excitación esa excitación.

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- Wigner clasifica las representaciones irreducibles del grupo de Poincaré mediante etiquetas invariantes.[1,2]
- El número de partículas no se conserva en teoría cuántica relativista; las interacciones crean y destruyen cuantos mientras los números cuánticos conservados restringen qué procesos ocurren.[2,5]
- Un detector acelerado detecta partículas en el estado que los observadores inerciales llaman vacío, así que el número de partículas se define relativo a un observador y no es un invariante del estado.[4]
- Los sucesos de detección son discretos, y las especies se catalogan por masa, espín y carga y no por forma o tamaño.[1,5]

Lo que todavía no sabemos

- Si puede definirse un concepto satisfactorio de partícula en espaciotiempos curvos generales, donde no existe una separación privilegiada de los modos del campo.[3,4]

- Cómo caracterizar excitaciones de tipo partícula en regímenes de interacción fuerte donde no están disponibles los estados asintóticos que sirven para definirlos.
- Si la lista actual de especies refleja una estructura organizadora más profunda o es el subconjunto observado de una clasificación mayor.

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- La detección reproducible de una especie cuyas propiedades de transformación bajo cambios de sistema inercial cayeran fuera de la clasificación de Wigner exigiría revisar el propio marco relativista.[1,2]
- Una medida directa que mostrara que un detector acelerado no registra partículas en el vacío inercial, controladas la aceleración y el acoplamiento del detector, contradiría la dependencia del número de partículas respecto del observador.[4]
- Evidencia experimental de que el número de partículas se conserva en un régimen donde el marco estándar predice creación, contabilizados todos los canales de desintegración y las ineficiencias del detector, invalidaría el relato de las interacciones en teoría de campos.[2,5]

Si solo recuerdas una cosa

Una partícula cuántica es una excitación discreta clasificada por simetría que un detector puede registrar, no un objeto pequeño con trayectoria, y hasta su número depende del observador.

Artículos relacionados

- IDE-021 — ¿Qué es un campo?
- IDE-019 — ¿Qué es la luz? Onda, cuanto y observador
- IDE-022 — ¿Qué significa la masa?

Referencias

- [1] Eugene P. Wigner. On Unitary Representations of the Inhomogeneous Lorentz Group. *Annals of Mathematics* 40(1), 149-204 (1939). DOI 10.2307/1968551.
- [2] Steven Weinberg. *The Quantum Theory of Fields, Volume I: Foundations*. Cambridge University Press (1995).
- [3] Rudolf Haag. *Local Quantum Physics: Fields, Particles, Algebras*, 2nd edition. Springer (1996).
- [4] W. G. Unruh. Notes on Black-Hole Evaporation. *Physical Review D* 14(4), 870-892 (1976). DOI 10.1103/PhysRevD.14.870.
- [5] F. Takahashi et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics. *International Journal of Modern Physics A* 41, 2630011 (2026). DOI 10.1142/S0217751X26300115.
- [6] Wojciech H. Zurek. Decoherence, Einselection, and the Quantum Origins of the Classical. *Reviews of Modern Physics* 75(3), 715-775 (2003). DOI 10.1103/RevModPhys.75.715.
- [7] D. Durr; S. Goldstein; N. Zanghi. Bohmian Mechanics as the Foundation of Quantum Mechanics. arXiv:quant-ph/9511016 (1995).