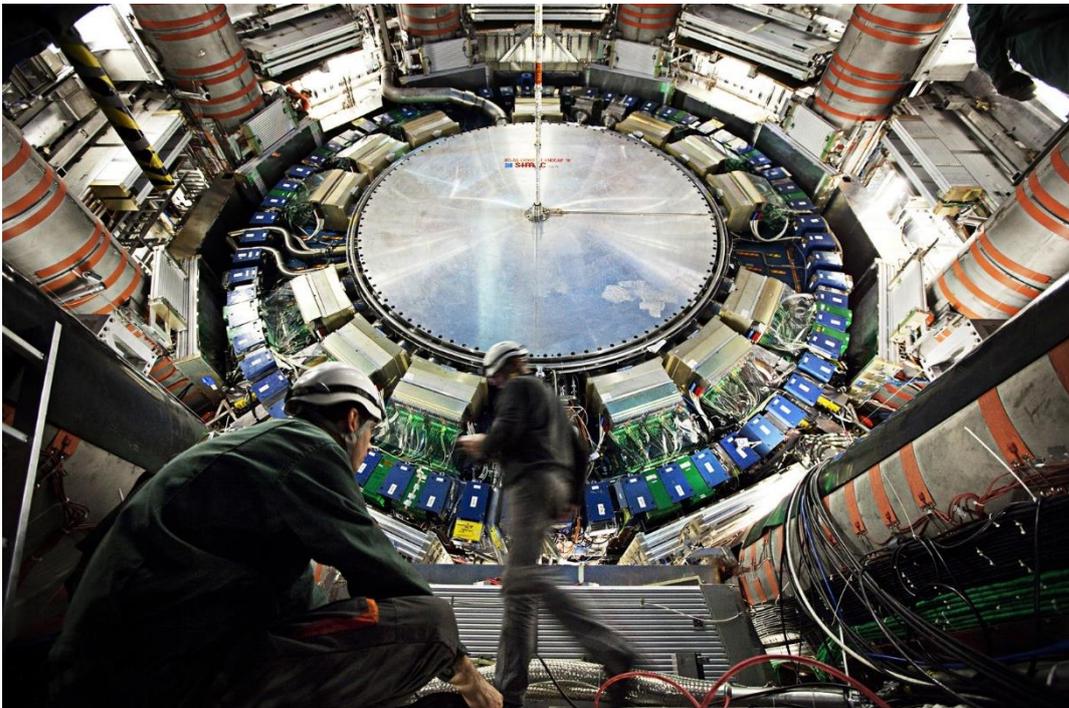




Valencia, 10 de marzo de 2025

Investigadores del CSIC utilizan el vacío cuántico para mejorar las predicciones en física de partículas y avanzar en computación cuántica

- Un equipo liderado por el Instituto de Física Corpuscular (CSIC-UV) crea un algoritmo que representa de forma más precisa las colisiones que ocurren en aceleradores como el Gran Colisionador de Hadrones
- El método se ha probado por primera vez para predecir el comportamiento del bosón de Higgs en un ordenador cuántico con un nivel de detalle sin precedentes en este tipo de máquinas



ATLAS, uno de los detectores del Gran Colisionador de Hadrones (LHC)/ ATLAS Experiment/CERN.

Un equipo internacional liderado por investigadores del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y de la

Universitat de València, ha desarrollado un algoritmo que permite predecir con mayor precisión el comportamiento de las partículas elementales en aceleradores como el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Este nuevo método se basa en las fluctuaciones del vacío cuántico, un fenómeno desconcertante de la Física que, paradójicamente, ofrece representaciones matemáticas más precisas de los procesos físicos. Este método, publicado en la prestigiosa revista científica *Physical Review Letters*, se ha implementado por primera vez en un ordenador cuántico, un avance recogido en otro artículo publicado en la revista *Quantum Science and Technology*.

El vacío en Física cuántica es un concepto tan fascinante como desconcertante. Lejos de ser un espacio desprovisto de todo contenido, representa un escenario dinámico donde partículas y antipartículas surgen y se aniquilan de manera constante, guiadas por el principio de incertidumbre de Heisenberg. Estas fluctuaciones del vacío cuántico, aunque breves, dejan una huella indeleble que permite mejorar significativamente las predicciones teóricas sobre el comportamiento de las partículas subatómicas, algo fundamental para interpretar los datos en experimentos como el LHC.

Tradicionalmente, los modelos teóricos que predicen este comportamiento se han basado en los diagramas del premio Nobel Richard Feynman, que representan, de manera gráfica y concisa, la interacción entre un conjunto de partículas que colisionan inicialmente y las que emergen como resultado de esa colisión. Sin embargo, el formalismo matemático utilizado permite, en ciertos casos, la producción de algunas de estas partículas con energía exactamente nula o en la misma dirección.

Aunque estas configuraciones son válidas desde el punto de vista matemático, carecen de significado físico. Este fenómeno refleja una característica esencial de la mecánica cuántica: el número de partículas no es fijo y puede cambiar debido a fluctuaciones cuánticas. Esto complica los cálculos teóricos y genera grandes desafíos, ya que a menudo surgen infinitos matemáticos que dificultan obtener resultados precisos.

La investigación liderada por el IFIC propone un enfoque innovador: basar los cálculos teóricos en las amplitudes de vacío, es decir, en diagramas que no incluyen partículas externas y se centran en las fluctuaciones intrínsecas del vacío cuántico. Esta estrategia elimina las dificultades asociadas a los valores infinitos y ofrece representaciones matemáticas más precisas de los procesos físicos reales.

Como explica **Germán Rodrigo**, investigador principal del grupo Fenomenología avanzada de partículas elementales e interacciones fundamentales en grandes colisionadores y aceleradores de partículas (LHCPheno) en el IFIC que lidera el trabajo, “cuando un formalismo matemático conduce a complicaciones innecesarias, suele ser una señal de que existe un modo más elegante y directo para obtener el resultado. El método que hemos desarrollado incorpora de forma manifiesta el principio físico fundamental de causalidad, o causa-efecto. Además de posibilitar predicciones teóricas más avanzadas, ofrece una nueva perspectiva para entender las enigmáticas propiedades cuánticas del vacío”, asegura el físico del CSIC.

Aplicaciones en computación cuántica

La ausencia de infinitos, junto con la naturaleza cuántica intrínseca de la física de partículas, ha permitido a los investigadores implementar con éxito su nuevo algoritmo en un ordenador cuántico. Este hito ha facilitado la predicción, por primera vez en este tipo de plataformas, de la tasa de desintegración del bosón de Higgs, la partícula elemental responsable de la masa en el universo, a segundo orden de la teoría cuántica de campos, el marco teórico que combina la mecánica cuántica y la relatividad especial para describir cómo interactúan las partículas elementales.

Esto representa un avance significativo, porque los cálculos a órdenes altos en teoría cuántica de campos, donde cada orden nuevo mejora significativamente la descripción del sistema, son extremadamente complejos y requieren una gran capacidad computacional. Lograr este resultado en un ordenador cuántico, además de validar su capacidad para abordar problemas avanzados de física teórica, abre nuevas posibilidades para el uso de la computación cuántica en simulaciones de partículas elementales y otras aplicaciones en física de altas energías.

Jorge Martínez de Lejarza, doctorando en el IFIC y uno de los autores del último trabajo, apunta: “Los ordenadores cuánticos prometen revolucionar la computación en el siglo XXI, superando a los ordenadores clásicos en la resolución de ciertos problemas concretos. En física de partículas nos enfrentamos a algunos de los mayores desafíos en la ciencia y, en ese sentido, nuestra misión es reformularlos para permitir su ejecución en ordenadores cuánticos, contribuyendo así a avanzar en una mejor comprensión del universo”.

Este avance abre nuevas oportunidades para el desarrollo de aplicaciones en computación cuántica y representa un paso significativo en la exploración de las fronteras de la física de partículas. Los dos trabajos se han realizado en colaboración con personal investigador de la Universidad de Salamanca, la Universidad Autónoma de Sinaloa (México) y la Iniciativa en Tecnologías Cuánticas del CERN.

S. Ramírez-Urbe, P.K. Dhani, G.F.R. Sborlini and G. Rodrigo, ***Rewording Theoretical Predictions at Colliders with Vacuum Amplitudes***, *Phys. Rev. Lett.* DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.211901>

J.J.Martínez de Lejarza, D.F. Rentería-Estrada, M. Grossi and G. Rodrigo, ***Quantum integration of decay rates at second order in perturbation theory***, *Quantum Sci.Technol.* DOI: <https://doi.org/10.1088/2058-9565/ada9c5>

CSIC Comunicación– Comunidad Valenciana

comunicacion@csic.es