

COMUNICATO STAMPA

Trasporto quantistico: bosoni e fermioni ubbidiscono a una legge universale

Attraverso un'analisi matematica rigorosa che ha studiato le fluttuazioni della corrente rispetto al suo valore medio, una nuova ricerca pubblicata su *Physical Review Letters*, stabilisce un'inattesa connessione tra il comportamento di particelle così diverse



Trieste, 23 maggio 2025

Il mondo che ci circonda è composto da due tipi di particelle profondamente diverse: i fermioni e i bosoni. I primi sono per natura solitari e cercano di evitarsi: se fossero automobili su una strada affollata, il movimento di ciascuna particella sarebbe limitato da quella che la precede. I bosoni sono molto più socievoli. Tendono a raggrupparsi. Così, nel mondo dei veicoli quantistici bosonici, gli ingorghi semplicemente non esistono perché le auto amano sovrapporsi. Eppure, dice una nuova ricerca apparsa su *Physical Review Letters*, tra questi due tipi di particelle esiste una connessione nascosta che emerge quando si analizzano le fluttuazioni della corrente di traffico rispetto al valore medio. Le fluttuazioni, infatti, obbediscono alla stessa legge per entrambi i tipi di particelle. Questa inaspettata universalità, dimostrata nello studio attraverso un'analisi matematica rigorosa, può offrire uno strumento potente per comprendere le proprietà del trasporto quantistico. Questa legge, peraltro, è la stessa che descrive fenomeni naturali estremamente diversi, quale la crescita delle superfici

dei cristalli o la propagazione degli incendi boschivi. La ricerca nasce dalla collaborazione tra il professor Andrea Gambassi del gruppo di fisica statistica della SISSA e colleghi e dottorandi delle università tecniche di Vienna e Monaco di Baviera.

Strumenti matematici avanzati per descrivere le particelle fondamentali

Immaginate di osservare delle particelle quantistiche che si muovono su una fila ordinata di "caselle", come su una strada a senso unico, sospinte da un "ambiente" esterno, una sorta di serbatoio che fornisce l'energia necessaria al movimento. Questo tipo di movimento si chiama trasporto dissipativo, ed è qualcosa che può davvero accadere in esperimenti con atomi ultra-freddi o in speciali materiali quantistici.

"Nella nostra ricerca" spiegano i primi autori Yuri Minoguchi e Julian Huber "abbiamo analizzato come si comportano i bosoni nel lungo periodo e, in particolare, come fluttua il loro flusso (cioè il numero di particelle che passano in un certo tempo). Per farlo, abbiamo combinato simulazioni numeriche con strumenti matematici avanzati usati nella fisica teorica. E qui, spiegano, è arrivata un risultato quantomeno sorprendente".

I bosoni come i fermioni

"Abbiamo scoperto che questo processo segue le stesse leggi universali che descrivono la crescita di superfici irregolari — note come classe di universalità KPZ, dai nomi di Mehran Kardar, Giorgio Parisi e Yi-Cheng Zhang che, per primi, 40 anni fa, hanno studiato il problema" continuano gli autori: "Tutto ciò è particolarmente interessante perché una legge simile vale anche per i fermioni, un tipo di particelle che si comporta in modo estremamente diverso dai bosoni. Anche se i fermioni non si ammassano mai e i bosoni sì, le regole generali che descrivono il loro trasporto dissipativo, su larga scala, sono le stesse. E questo è un risultato scientificamente molto interessante".

Eppure le differenze esistono...

Se si va a guardare nei dettagli, però, le differenze riemergono. Analizzando le statistiche complete delle fluttuazioni (cioè non solo la media del flusso, ma anche quanto e come varia nel tempo), bosoni e fermioni seguono strade molto diverse. Pensando a una superficie, il trasporto dei fermioni assomiglia a un processo di erosione, durante il quale la superficie si consuma; quello dei bosoni, invece, assomiglia ad una crescita, dove questa si espande. "Pur considerando le differenze" spiegano gli autori della ricerca "questo modo di vedere ci permette di unificare fenomeni diversi in un'unica descrizione. Questa scoperta ci dice che,

sotto sotto, esistono leggi universali che collegano mondi apparentemente molto lontani tra loro. Capirle ci aiuta a vedere meglio come funziona il trasporto di particelle nei sistemi quantistici. E questo è un risultato di grande rilievo concettuale”.

Oltre l'interesse teorico: risultati utili per chi lavora in laboratorio

Le evidenze emerse dalla ricerca, spiegano gli autori, va oltre il risultato meramente teorico: lo studio ha infatti avuto origine dall'interesse di Peter Rabl e Louis Garbe per il laser a cascata quantica (QCL). In questi dispositivi di ottica quantistica, gli elettroni “scendono” da una scala di potenziale, emettendo luce laser coerente. Ma cosa succede se si sostituiscono gli elettroni con dei bosoni? Concludono gli autori: “Per capirlo era prima necessario comprendere il trasporto dei bosoni, cosa, questa, che ci ha spinto a formulare e analizzare i modelli di fisica statistica discussi nel nostro lavoro, grazie anche alla combinazione delle diverse esperienze di ricerca degli autori. I risultati che abbiamo ottenuto sono importanti anche per chi lavora in laboratorio: ci danno nuove chiavi per interpretare esperimenti con atomi freddi o quasi-particelle in reticoli nanofotonici, dove fenomeni di questo tipo si possono effettivamente osservare”.

LINK UTILI

[Articolo completo](#)

IMMAGINE

Crediti: Oleg Gamulinskii da Pixabay

SISSA

Scuola Internazionale
Superiore di Studi Avanzati
Via Bonomea 265, Trieste

W www.sissa.it

Facebook, Twitter

[@SISSAschool](#)

CONTATTI

Nico Pitrelli

M pitrelli@sissa.it

T +39 339 133 7950

Donato Ramani

M ramani@sissa.it

T +39 342 80 222 37