Consiglio Nazionale delle Ricerche

In un esperimento all'Istituto nazionale di ottica del Cnr è stata esplorata, per la prima volta in un gas atomico di fermioni ultrafreddi, la connessione fondamentale tra la supercorrente che attraversa una sottile barriera isolante per effetto tunnel quantistico e la fase della funzione d'onda di un superfluido. Le misure hanno permesso di svelare alcune delle proprietà fondamentali rimaste finora sconosciute a causa delle forti correlazioni quantistiche tra le particelle. I risultati della ricerca sono stati pubblicati sulla rivista Science

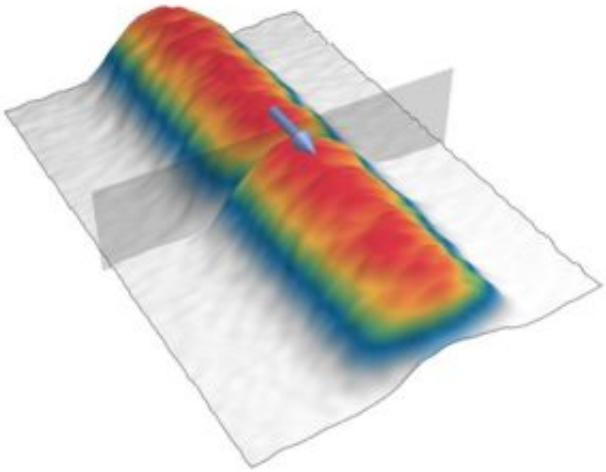

Fig. 1

Roma,
27 luglio 2020 - Come insegna l'esperienza quotidiana, un fluido non può passare da un recipiente a un altro attraversando la parete frapposta ai due. Sorprendentemente, tuttavia, la meccanica quantistica lo consente, a condizione però che la parete tra i due contenitori sia sufficientemente sottile. L'effetto tunnel quantistico permette infatti alle particelle di fluire tra due contenitori, persino in assenza di resistenza nel caso dei superfluidi, stati della materia capaci di scorrere senza dissipare energia.

In

un articolo apparso sulla rivista *Science*,
un gruppo di ricercatori dell'Istituto nazionale di ottica del Consiglio nazionale delle ricerche (Cnr-Ino) e del Laboratorio Europeo di Spettroscopie Non-lineari (LENS) di Sesto Fiorentino, guidati da Giacomo Roati e Francesco Scazza, hanno osservato l'insorgere di correnti senza resistenza tra due gas di Fermi nella fase superfluida, separati da una sottile parete creata tramite luce laser.

"Queste supercorrenti atomiche scorrono attraverso la parete sostenute solamente dalla differenza di fase relativa tra le funzioni d'onda quantistiche dei due gas superfluidi. Il fenomeno è noto come effetto Josephson-dc ed è una delle manifestazioni più paradigmatiche della coerenza di fase quantistica a livello macroscopico. È estremamente importante anche per le sue applicazioni: è infatti alla base del funzionamento di molti moderni dispositivi interferometrici, che utilizzano giunzioni tra metalli superconduttori", afferma Giacomo Roati del Cnr-Ino.

"Mentre la resistenza nei metalli ordinari rende la corrente di elettroni proporzionale al voltaggio applicato, definendo la relazione nota come Legge di Ohm, la supercorrente scorre senza resistenza come conseguenza della coerenza di fase dello stato superfluido, nel quale le particelle si muovono all'unisono, condividendo la stessa funzione d'onda macroscopica. In questo caso, la corrente ha una dipendenza sinusoidale dalla differenza di fase tra i due superfluidi, che rappresenta quindi un analogo quantistico del voltaggio", prosegue Roati.

Questo sorprendente fenomeno fu predetto dal fisico britannico Brian Josephson nel 1962 e gli valse il premio Nobel per la Fisica nel 1973. Come sostenne lo scienziato americano Phil Anderson, l'effetto Josephson rappresenta lo strumento per antonomasia per estrarre informazioni essenziali sulla natura della funzione d'onda quantistica (il cosiddetto parametro d'ordine), che descrive ogni stato superfluido.

"Nel nostro esperimento, creiamo gas atomici superfluidi che hanno la caratteristica

eccezionale di presentare forti correlazioni quantistiche tra le particelle - commenta Francesco Scazza del Cnr-Ino - Iniettando una corrente atomica controllata attraverso una barriera di luce posta nel gas, misuriamo il valore massimo per cui la resistenza è nulla, ricavando una delle proprietà fondamentali dello stato superfluido gas, ossia il numero di atomi che occupano lo stato quantistico fondamentale. Questa caratteristica, detta frazione condensata, era finora rimasta inaccessibile proprio a causa delle forti correlazioni tra gli atomi".

"La comprensione e il controllo dei fenomeni di coerenza quantistica nel trasporto di carica ed energia costituiscono una delle importanti sfide per le moderne scienze, e possono essere considerate la spina dorsale della nuova era delle tecnologie quantistiche. Il nostro lavoro è un importante esempio di come gli studi sui campioni atomici ultrafreddi possano contribuire alla comprensione dei meccanismi più elementari del trasporto quantistico, con dirette analogie ai sistemi elettronici", conclude Roati.

Fig. 1 - La figura mostra un'immagine sperimentale della densità dei due superfluidi atomici separati da una parete isolante. La loro natura quantistica ondulatoria consente alle particelle di passare da un lato all'altro senza resistenza