

Padova, 10 luglio 2023

GAS ATOMICI ULTRAFREDDI NELLO SPAZIO E IN GEOMETRIE CURVE

Studio di ricercatori dell'Università di Padova apre nuove prospettive per la progettazione di dispositivi elettronici e atomici

Sulla prestigiosa rivista scientifica «Nature Reviews Physics» è stato recentemente pubblicato un interessante articolo [1] di Andrea Tononi, ricercatore del Laboratorio di Fisica Teorica e Modelli Statistici dell'Università Parigi-Saclay, e Luca Salasnich, professore presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei" del nostro Ateneo. In questo lavoro [1], i due fisici riassumono alcuni sviluppi recenti della ricerca scientifica sui cosiddetti "gas atomici ultrafreddi", analizzando anche le prospettive per il futuro.

I gas ultrafreddi sono gas costituiti da atomi che vengono raffreddati a bassissime temperature (molto vicine allo zero assoluto, -273,15 gradi centigradi) e che sono intrappolati mediante campi elettrici o magnetici. In condizioni di bassa temperatura, gli atomi si comportano in modo cooperativo, formando un'onda di materia macroscopica che risulta essere l'analogo di un fascio di luce laser monocromatica e coerente. Questi sistemi atomici acquisiscono proprietà straordinarie come, ad esempio, la superfluidità, ovvero l'assenza di viscosità, al di sotto di una temperatura critica. Nel caso di atomi carichi elettricamente, l'analogo della superfluidità è la superconduttività, dove è la resistenza elettrica ad essere nulla. **Un materiale superconduttore è un conduttore ideale di corrente elettrica che non dissipa energia.** Per intenderci, lo stesso sistema usato nella tecnologia dei treni magnetici superconduttori in Giappone, che consente di farli viaggiare a una velocità estrema, senza dissipazione di energia. **Affinché questi superconduttori possano essere utilizzati sono necessarie, in condizioni normali su un piano, bassissime temperature.** Cambiare la geometria del materiale modifica queste proprietà di superfluidità e superconduttività, rendendole accessibili a temperature più alte, con l'obiettivo di realizzare in un futuro prossimo tecnologie fruibili.

Lo studio di Tononi e Salasnich analizza le nuove direzioni di ricerca della fisica degli atomi freddi, nata in seguito ad alcuni esperimenti condotti negli ultimi 3 anni: lo studio dei gas intrappolati in geometrie curve. Nel 2022, infatti, è stato prodotto per la prima volta un gas di atomi di rubidio confinati vicino ad un guscio ellissoidale. L'esperimento in questione [2] si è svolto all'interno della Stazione Spaziale Internazionale (Figura 1), ed è stato controllato da remoto (sulla Terra) da dei ricercatori statunitensi della NASA. Una domanda che sorge spontanea è: per quale motivo l'esperimento è stato svolto nello spazio? La ragione è che a terra, ovvero in presenza della gravità, gli atomi occuperebbero la parte inferiore del guscio, mentre in assenza di gravità, la cosiddetta "caduta libera" che si ha all'interno dalla stazione spaziale orbitale, gli atomi si possono distribuire in maniera uniforme e formare una sorta di bolla.



Figura 1: International Space Station

L'interesse fondamentale alla base della ricerca sui gas ultrafreddi in geometrie curve è comprendere come la geometria curva può modificare le proprietà dei sistemi fisici, per esempio innalzare la temperatura al di sotto della quale si innescano la superfluidità e la superconduttività. Un semplice esempio è sufficiente a motivare l'interesse insito in questa direzione di ricerca. Consideriamo una piccola formica che cammina sull'enorme superficie della Terra: essa ha davanti a sé una grande distesa piatta, essenzialmente equivalente ad un piano infinito. Se ponessimo invece la stessa formica sulla superficie di una pallina da ping-pong, essa ne percepirebbe la curvatura e potrebbe compiere un giro completo della superficie senza mai voltarsi. In maniera analoga alla formica sulla pallina, la taglia degli atomi in una configurazione a bolla è paragonabile alla dimensione della bolla stessa. Il loro moto, pertanto, risente della geometria curva ed il loro fluire avviene in maniera intrinsecamente diversa da ciò che accade in un sistema piatto.

La Figura 2, estratta dall'articolo di Tononi e Salasnich, illustra i concetti essenziali necessari a descrivere la fisica degli atomi in geometrie curve. Innanzitutto, si veda (a), una superficie curva è ottenuta confinando gli atomi in configurazioni bidimensionali (2D) o unidimensionali (1D). Una geometria curva bidimensionale è quindi caratterizzata da una curvatura locale (local curvature), da condizioni di periodicità al contorno (periodic boundaries) o da compattezza (compactness).

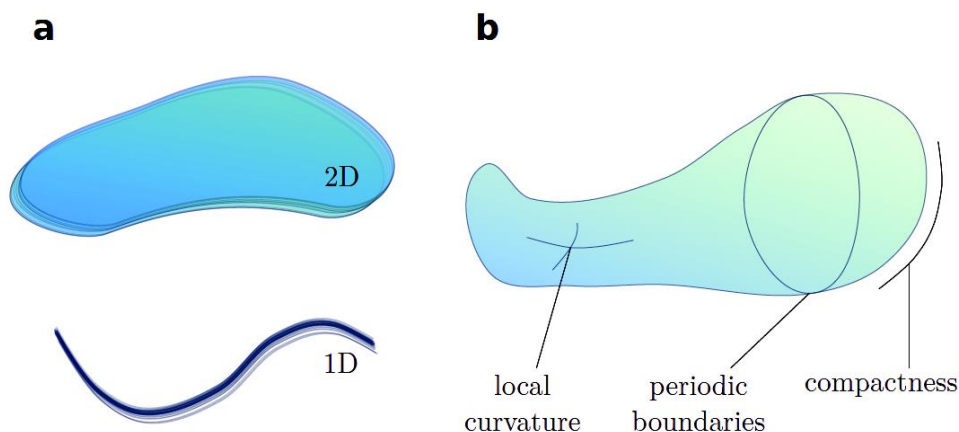


Figura 2 – Geometrie curve

Come spiegato dai due autori, vi sono notevoli prospettive scientifiche e tecnologiche legate alla manipolazione della curvatura spaziale e della geometria curva nei più diversi materiali, sia fluidi che solidi.



Andrea Tononi

«Fino ad ora - **dice Tononi** - l'attività di ricerca sui materiali confinati in regioni quasi bidimensionali e quasi unidimensionali si è principalmente concentrata su configurazioni piatte, quindi con curvatura spaziale nulla. Lo studio sistematico degli effetti della curvatura sui materiali è molto recente e sta rapidamente diventando un settore di ricerca molto importante».

«Quello che abbiamo evidenziato nel nostro lavoro - **aggiunge Salasnich** - è che vari fenomeni, tra i quali la superfluidità e la superconduttività, possono essere controllati cambiando la curvatura spaziale del materiale nel quale avvengono. Infatti, a temperature ultrabasse, si osserva in certi materiali l'assenza di resistenza elettrica (superconduttività) e quindi la corrente elettrica scorre senza attrito. La stessa cosa avviene in questi esperimenti con gli atomi, dove c'è assenza di viscosità (superfluidità). La temperatura critica al di sotto della quale si ha l'assenza di attrito, cioè l'assenza di resistenza elettrica e viscosità, può essere in particolare controllata cambiando la curvatura spaziale del materiale.»



Luca Salasnich

«A fronte degli esperimenti con atomi confinati sulla superficie di una sfera o di un ellissoide, si fanno anche esperimenti con atomi che si muovono all'interno di un tubo chiuso stretto (quasi unidimensionale) con la forma di un anello circolare o ellittico» **spiega Tononi**.

«Queste ricerche innovative - **conclude Salasnich** - possono avere rilevanti ricadute nella progettazione e realizzazione di nuovi dispositivi elettronici ed atomici. Per esempio, c'è un nuovo settore di ricerca, chiamato atomtronica, che cerca di riprodurre con gli atomi l'elettronica che si fa attualmente con i dispositivi elettrici, con il vantaggio che con gli atomi è più semplice ottenere l'onda di materia macroscopica che produce una completa coerenza e superfluidità.»

[1] A. Tononi and L. Salasnich, Low-dimensional quantum gases in curved geometries, *Nature Reviews Physics* **5**, 398-406 (2023).

Online version: <https://www.nature.com/articles/s42254-023-00591-2>

[2] R.A. Carollo *et al.*, Observation of ultracold atomic bubbles in orbital microgravity, *Nature* **606**, 281 (2022).

Online version: <https://www.nature.com/articles/s42254-023-00591-2>