

Lavoro di ricercatori Unipa pubblicato sulla rivista “Physics Reports”

“Così come i buchi neri curvano lo spazio-tempo, le transizioni di fase distorcono la geometria dello spazio delle fasi”. In questa frase, piuttosto oscura, è celata l’idea di base di un recente articolo di rassegna pubblicato da Angelo Carollo, Davide Valenti e Bernardo Spagnolo, fisici del *Gruppo di Fisica Teorica Interdisciplinare* presso il Dipartimento di Fisica e Chimica “Emilio Segrè” (DiFC) dell’Università di Palermo sulla rivista *Physics Reports*.

Per capire questa frase bisogna sapere cos’è una transizione di fase e soprattutto cosa c’entra la geometria.

Tutti noi sappiamo che l’acqua, così come quasi tutte le sostanze, può presentarsi in almeno tre distinti stati o *fasi*: liquido, solido o gassoso. La “transizione di fase” è il passaggio da uno stato all’altro, ad esempio da liquido a solido (solidificazione) o da solido a liquido (fusione), che può avvenire alterando la temperatura o la pressione della sostanza. Ma le transizioni di fase comprendono molti altri fenomeni più o meno familiari, come la smagnetizzazione di un magnete se viene sufficientemente riscaldato, la perdita di resistenza elettrica di alcuni conduttori che diventano superconduttori al di sotto di una certa temperatura, la presenza di due fasi, una fluida ed una superfluida, nell’elio sufficientemente raffreddato.

Questi sono esempi di transizioni di fase termiche, ovvero che avvengono ad una temperatura finita. D’altro canto anche alla temperatura dello zero assoluto, il cambiamento di alcune variabili come pressione, campo magnetico o composizione chimica può innescare delle transizioni di fase. Quando questo succede si parla di *transizioni di fase quantistiche*, perché dovute alla natura ondulatoria, ovvero *quantistica*, dei costituenti microscopici della materia.

Un aspetto caratterizza tutte le transizioni di fase, siano esse termiche o quantistiche: la minima variazione di alcune variabili termodinamiche, provoca un drastico cambiamento delle proprietà del sistema. Questo è dovuto a una brusca riorganizzazione collettiva dei suoi costituenti che ha effetti su scala macroscopica.

In termodinamica si usano i parametri come temperatura, pressione, campo magnetico ecc. per descrivere lo stato di un sistema e individuare le sue *fasi*. L’insieme di tutti i valori di questi parametri prende il nome di spazio delle fasi.

Ogni stato macroscopico del sistema per un dato valore di pressione e temperatura rappresenta un punto in questo spazio astratto come un punto su una mappa rappresenta la posizione di un corpo nello spazio reale. Ma se una mappa serve a orientarci e a comprendere distanze tra i punti dello spazio, è altrettanto possibile introdurre un concetto di distanza fra due punti nello spazio delle fasi? E soprattutto, è possibile definirlo in una maniera che ci aiuti a comprendere meglio la natura e le caratteristiche delle fasi e delle sue transizioni?

Questo articolo di rassegna illustra un modo intuitivo e al tempo stesso operativo per attribuire una distanza fra due punti dello spazio delle fasi. L’idea è di assegnare una distanza maggiore a stati che sono macroscopicamente più facili da *distinguere* e una distanza minore a stati che risultino *più simili* tra di loro. Due stati A e B sono “facili da distinguere” quando una serie di misure su un sistema consente di stabilire con alta probabilità se il sistema si trovi nello stato A piuttosto che in B.

Quest'idea apparentemente semplice ha delle conseguenze molto interessanti. Infatti consente di definire una metrica nello spazio delle fasi e di sfruttare tutta la potenza della geometria differenziale, la stessa branca della matematica che sta alla base della teoria della relatività generale. Concetti come distanza, curvatura e singolarità della metrica diventano gli strumenti che consentono di studiare e caratterizzare le proprietà di correlazione che si osservano nei sistemi a molti corpi.

Come abbiamo detto, una transizione di fase è caratterizzata da un brusco cambiamento delle sue proprietà macroscopiche a seguito di impercettibili variazioni dei parametri. Questo vuol dire che man mano che ci si avvicina a una transizione di fase, gli stati diventano sempre più distinguibili e di conseguenza le distanze si *dilatano*. Una transizione di fase deforma la metrica dello spazio delle fasi con singolarità per molti aspetti analoghe a quelle che i buchi neri producono nello spazio-tempo.

L'approccio geometrico consente di investigare transizioni di fasi che eludono la teoria standard, come le transizioni di fase di non-equilibrio e le transizioni di fase topologiche, dove concetti come rottura spontanea di simmetria e parametro d'ordine non sono facilmente applicabili, e al tempo stesso consente di discernere la natura quantistica o classica di tali fenomeni critici.

Il lavoro, pubblicato su *Physics Reports*, costituisce un importante contributo a questo approccio geometrico, presentandone in modo dettagliato ed esaustivo lo stato dell'arte ed evidenziando l'interesse che ha suscitato in un'ampia comunità di studiosi di meccanica statistica e il sorprendente sviluppo che ha avuto nell'ultimo decennio.

Physics Reports è una rivista scientifica della casa editrice Elsevier altamente qualificata, con elevato impact factor (**25.79**), che pubblica articoli di rassegna solo su invito. Questi "reports" sono di natura specialistica, ma contengono materiale introduttivo sufficiente per rendere i punti principali comprensibili a un non specialista. Il lettore non solo sarà in grado di distinguere importanti sviluppi e tendenze in fisica, ma troverà anche un numero sufficiente di riferimenti alla letteratura originale.

La pubblicazione originale: Angelo Carollo, Davide Valenti, Bernardo Spagnolo, "*Geometry of quantum phase transitions*", *Physics Reports* **838**, 1-72 (2020);

<https://doi.org/10.1016/j.physrep.2019.11.002>

è consultabile sul sito della Rivista al seguente link:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0370157319303655?via%3Dihub>

con accesso tramite l'Università di Palermo.

