

EFFETTO CASIMIR RIVISITATO

Nel 1948, Casimir predisse che nel vuoto due piastre conduttrici si sarebbero attratte reciprocamente a causa delle fluttuazioni quantistiche del campo elettromagnetico del vuoto esistente fra le piastre. Generalizzata per i materiali reali da Lifshitz, nel 1956, la previsione di Casimir è stata verificata sperimentalmente dimostrando l'esistenza di una forza attrattiva: questa ha spesso creato problemi, soprattutto nei nanosistemi, portando all'incollatura delle due armature. L'effetto attrattivo può essere spiegato in maniera semplice considerando due piastre metalliche separate dal vuoto, tenendo conto che nella regione intermedia possono esistere solo onde le cui frequenze sono determinate dalla condizione che la distanza fra le piastre deve essere multipla della semilunghezza d'onda della radiazione. Nella regione esterna possono esistere tutte le radiazioni, senza alcun vincolo per la loro frequenza. L'esperimento di Munday, Capasso e Parsegian ha mostrato l'esistenza, oltre alle interazioni di tipo attrattivo anche di forze repulsive, che risultano, come intensità minori di quelle attrattive. In entrambi i casi (forze attrattive e repulsive), l'intensità della forza aumenta col diminuire della distanza di separazione fra le piastre. Per quanto riguarda le applicazioni, le forze repulsive potrebbero permettere la levitazione di oggetti in un fluido aprendo la strada ad una nuova classe di nanosistemi soggetti, previo comando esterno, ad un bassissimo attrito statico.

Si consideri un sistema di tre parallelepipedi aventi basi e altezze fra loro uguali disposti parallelamente, costituiti da materiali le cui costanti dielettriche relative sono ϵ_1 , ϵ_2 e ϵ_3 . Le interazioni reciproche dei materiali esterni 1 e 2 dipendono dal mezzo 3 interposto, in particolare da sommatorie di termini del tipo

$$-(\epsilon_1 - \epsilon_3)(\epsilon_2 - \epsilon_3),$$

in cui le costanti dielettriche dipendono a loro volta, come è ben noto, dalla frequenza. Ne segue che, se la costante dielettrica del mezzo 3 interposto è compresa fra ϵ_1 e ϵ_3 , cioè se vale la condizione

$$\epsilon_1 > \epsilon_3 > \epsilon_2,$$

la forza è repulsiva. Se i materiali 1 e 2 sono fra loro uguali, la forza è attrattiva, come è già

stato verificato sperimentalmente.

Le forze attrattive non sono molto apprezzate da chi oggi lavora nel campo delle nanotecnologie, perché possono, anche per piccoli spostamenti, provocare incollamenti fra le due superfici dei materiali 1 e 2 bloccando il funzionamento dei dispositivi. Al contrario, forze repulsive presentano aspetti interessanti perché aprono la strada a due prospettive di notevole attrazione, quali la riduzione dell'attrito e la levitazione.

Le forze attrattive sono da tempo ben note ai ricercatori che operano in questo campo di ricerca, quelle repulsive sono state misurate recentemente da Munday, Capasso e Parsegian.

Il dispositivo sperimentale di questi autori misura la forza esistente fra una sfera di polistirolo, ricoperta da un sottile strato di oro di 100 nm di spessore, in modo da raggiungere un diametro di 40 μm , e una estesa piastra di silice. La sfera è collegata ad una sottile asticella la cui posizione è determinata dalla riflessione di un fascio luminoso mediante un sistema di fotorivelatori. Per confronto, le stesse misure sono state ripetute utilizzando una superficie di silice ricoperta con 200 nm d'oro. La forza è risultata attrattiva nel caso dei due materiali uguali (oro-oro), repulsiva nel caso dei materiali differenti (oro-silice). Il sistema ha permesso di misurare forze fino al livello dei 10 pN.

Come precedentemente accennato, una forza repulsiva fra due superfici assai vicine permette la levitazione di un corpo rispetto all'altro e se lo scostamento potesse essere portato al disopra dei 15 nm (tipico valore limite dovuto alla ruvidità delle superfici) si potrebbero costruire sensori di forze a bassissimo attrito e quindi ad elevata sensibilità. Come riportato da "Physics Today" (febbraio 2009, pag 22), Capasso spera che la levitazione di Casimir possa permettergli di osservare un effetto di elettrodinamica quantica in grado di produrre un momento meccanico fra materiali otticamente anisotropi. Facendo ruotare per levitazione un disco di materiale birifrangente sopra un secondo disco mediante luce polarizzata circolarmente, si dovrebbe osservare che gli assi ottici principali tendono a riallinearsi quando la luce è rimossa.

Nature, 457, 8 gennaio 2009, p. 170

UN NANOSCOPIO A TERAHERTZ

Come riportato nell'articolo di "Nature" in cui vengono illustrati e commentati i risultati pubblicati sulla rivista "Nano Letters" (8, 3766, 2008) da Huber e collaboratori, un nuovo microscopio capace di risolvere dettagli delle dimensioni di 40 nm utilizza onde elettromagnetiche con frequenza nella regione del terahertz. Per l'elevato potere risolutivo il nome dato allo strumento deriva dalla parola microscopio, avendo sostituito la parte iniziale del sostantivo micro con nano. Può sembrare un controsenso il fatto che per "illuminare" il campione si utilizzino onde nella banda del terahertz, con lunghezze d'onda della radiazione incidente 3000 volte più grandi delle dimensioni dei dettagli (40 nm) che si riescono ad osservare. In realtà, come viene fatto osservare nell'articolo di "Nature", la presenza di un oggetto può essere rivelata "illuminandolo" con un fascio di radiazione e osservando la sua ombra proiettata su una parete lontana.

Al diminuire della lunghezza d'onda della radiazione, le dimensioni dell'ombra si riducono e, se le dimensioni dell'oggetto sono minori di metà della lunghezza d'onda, l'ombra scompare del tutto. Questo comportamento può essere facilmente compreso se si tiene conto che la radiazione incidente può essere rappresentata da un insieme di onde che si propagano nello spazio. Le onde sono bloccate da ostacoli di grandi dimensioni, ma aggirano quelli piccoli propagandosi alle loro spalle come se essi non esistessero. In generale per osservare oggetti di dimensioni minori della semilunghezza d'onda della radiazione incidente, si deve usare un rivelatore di assai piccole dimensioni collocato molto vicino al campione in modo da poter effettuare misure di "campo vicino". L'alternativa consiste nel misurare la radiazione a distanza dal campione mettendo nelle vicinanze di questo la sorgente, che in tal caso deve avere piccole dimensioni. Questa è la soluzione adottata utilizzando una punta metallica assottigliata fino a 30 nm, illuminata con un laser a terahertz. La tecnica sviluppata ha permesso agli autori di mettere in evidenza la presenza di bande popolate da un centinaio di elettroni.

Nature, 456, 27 Novembre 2008, p.454

a cura di Sergio Focardi