

FISICA QUANTISTICA

DI MARCO BELLINI *

La luce e il gatto di Schrödinger

La natura della luce è stata per secoli oggetto di studio e dibattito scientifico e filosofico. Nel XVII secolo Newton era convinto della sua natura corpuscolare ma agli inizi del 1800 Young dimostrò che la luce doveva invece comportarsi come un'onda per essere compatibile con le sue osservazioni sui fenomeni di interferenza. A corroborare tale ipotesi arrivarono la teoria della diffrazione di Fresnel e le equazioni di Maxwell, con le quali si pensò di aver risolto definitivamente il dilemma descrivendo in modo apparentemente completo la luce come un'onda di radiazione elettromagnetica.

La situazione si complicò nuovamente all'inizio del XX secolo, allorché Planck ed Einstein introdussero la quantizzazione della luce in particelle elementari, i fotoni, per spiegare i fenomeni dell'emissione di corpo nero e dell'effetto fotoelettrico. Benché la teoria quantistica della materia con la conseguente discretizzazione dei livelli atomici introdotta negli anni Venti sia riuscita a spiegare tali fenomeni anche senza ricorrere a particelle di luce, negli ultimi 30 anni e con l'avvento di nuove sorgenti e rivelatori più efficienti, si sono andate accumulando prove sperimentali della natura strettamente corpuscolare della luce generata in particolari condizioni.

Qual è quindi la vera natura della luce? Il dualismo onda-corpuscolo è ormai un punto fermo della moderna fisica quantistica e risolve la questione affermando che non solo la luce, ma anche la materia nelle sue varie forme non sono effettivamente né onde né corpuscoli ma presentano le caratteristiche tipiche di un'onda o di una particella a seconda di

Su «Science» di questa settimana, tre fisici dell'Istituto nazionale di ottica applicata di Firenze — Alessandro Zavatta e Silvia Viciani, due giovani precari, e Marco Bellini, un ricercatore già affermato — pubblicano un esperimento eccezionale, che supera nientemeno il problema delle misure nato insieme alla meccanica quantistica e sul quale filosofi e fisici riflettono da 80 anni (Roger Penrose gli dedica buona parte delle più di mille pagine del suo recentissimo libro *The Road to Reality*).

Un tormentone della fisica contemporanea è il passaggio dal mondo classico — in cui i fotoni, per esempio, le particelle della luce, sono coesi e si propagano come un'onda — al mondo quantistico in cui capita ai quanti di luce di comportarsi da biglie. Cos'accade tra uno stato e l'al-

tro? Si sono chiesti i tre. Non per primi, certo, ma per primi l'hanno seguito e caratterizzato. Il loro esperimento, basato su un allestimento pignolo e su idee audaci, ha colto sul fatto un singolo fotone che da biglia si metteva a fare l'onda, nell'attimo del passaggio tra mondo quantistico e classico. Questo lavoro «fornisce uno strumento per indagare eventi fondamentali in fisica quantistica», concludono gli autori con una frase di rito che però prosegue così: «e anche entità quantistiche "esotiche" come gli stati del gatto di Schrödinger». Parecchi fisici, anche in Italia, non vedono l'ora di provarci.

Il gatto — nell'esperimento immaginato da Erwin Schrödinger — è sia vivo che morto. Sta in una sovrapposizione di due stati così come, in fisica quantistica, stanno i fotoni o gli atomi prima che un'osservazione in-

terferisca. È chiuso in una scatola insieme a una fiala di veleno e a un fotone che, se cambia stato, la spezzera. Per sapere come sta il gatto bisogna aprire la scatola, ma questo riduce il fotone a uno stato solo e il gatto pure che metà delle volte ci lascia la pelle. Ora si può tentare di sbirciare nella scatola, senza privarlo della sua felina duplicità.

Il 29 febbraio scorso riferivamo sul Domenicale che l'Italgas aveva assegnato ad Alessandro Zavatta il premio Debutto per una tesi di dottorato sulla manipolazione di stati di luce quantistici. È rimasto a Firenze a far ricerca grazie anche a quei 10mila euro, una somma alla portata di molte aziende. Se vorranno imitare l'Italgas, faranno la stessa bella figura. I candidati brillanti abbondano. A mancare sono i mezzi per la loro sussistenza. (Sylvie Coyaud)

come le si genera e le si osserva. Quando si cerca di misurarne una caratteristica ondulatoria esse si comportano davvero come un'onda e perdono ogni proprietà corpuscolare, come il fatto di essere localizzati in una precisa posizione spaziale. Quando si cerca di localizzarli come se fossero

particelle essi appaiono davvero dei corpuscoli e perdono completamente le loro caratteristiche ondulatorie, come la possibilità di interferire.

La luce si comporta come un'onda classica dotata di una ampiezza e una fase definite nella maggior parte delle situazioni riscontrabili comunemente ma, in particolari condizioni sperimentali, è possibile generare stati di luce dalle caratteristiche completamente diverse e costituiti da pacchetti con un numero definito di fotoni, i quanti elementari di eccitazione di un modo di campo elettromagnetico. La luce in queste condizioni possiede

un'intensità perfettamente definita cosicché, in base al principio di indeterminazione di Heisenberg, la sua fase risulta completamente indeterminata. Quando un singolo fotone incide su di uno specchio semiriflettente esso viene sempre totalmente riflesso o totalmente trasmesso, cosa incompatibile

con una natura ondulatoria, ma perfettamente comprensibile nell'ottica di una singola particella di luce indivisibile. Esiste un ponte tra queste due situazioni estreme di onda e particella? Nel nostro laboratorio abbiamo sfruttato il fenomeno dell'emissione stimolata di luce in particolari cristalli

con una natura ondulatoria, ma perfettamente comprensibile nell'ottica di una singola particella di luce indivisibile. Esiste un ponte tra queste due situazioni estreme di onda e particella? Nel nostro laboratorio abbiamo sfruttato il fenomeno dell'emissione stimolata di luce in particolari cristalli

non lineari per aggiungere esattamente un fotone (una particella) a un campo classico (un'onda), ottenendo uno stato della luce che è una via di mezzo tra un corpuscolo quantistico e uno stato classico ondulatorio. Variando l'ampiezza dello stato classico all'ingresso del cristallo è stato quin-

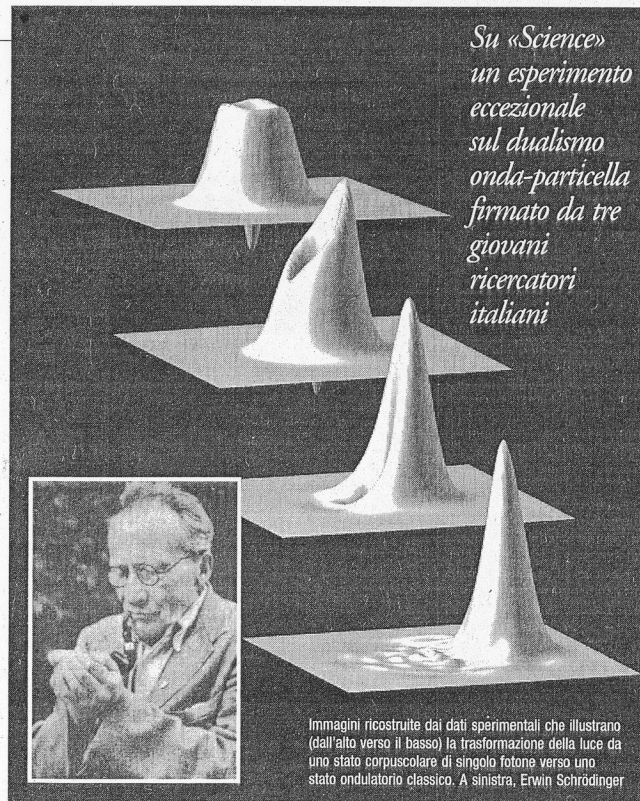
di possibile generare stati che percorressero in modo continuo la transizione tra il comportamento corpuscolare e quello ondulatorio della luce. Per analizzare in modo completo questi particolari stati di luce ci siamo avvalsi della cosiddetta tomografia quantistica, una tecnica che, analo-

gamente a quanto avviene in medicina, permette di ricostruire una "immagine" dello stato quantistico a partire da una serie di sue proiezioni prese ad angoli diversi. Partendo dal singolo fotone, caratterizzato da una forma a "vulcano" con simmetria circolare attorno all'origine (causata dalla completa indeterminazione di fase nello stato corpuscolare della luce), si è quindi potuta osservare la progressiva rottura della simmetria dovuta alla nascita della fase e la graduale trasformazione in una distribuzione a campana decentrata tipica di un campo classico con fase e ampiezza relativamente ben definiti.

Oltre ad aver permesso di osservare per la prima volta in modo completo le varie fasi della transizione tra comportamento corpuscolare e ondulatorio della luce, questo esperimento, realizzato grazie a una collaborazione tra l'Istituto nazionale di ottica applicata, il Lens e il dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze, ha dimostrato la possibilità di realizzare e analizzare in modo perfettamente controllato uno dei processi quantistici fondamentali, l'amplificazione elementare di un campo bosonico da parte di un singolo quanto di eccitazione.

Tale capacità di manipolazione e controllo di stati e processi quantistici costituisce uno dei requisiti fondamentali in vista delle applicazioni delle peculiari proprietà della fisica dei quanti alla vita di tutti i giorni: dal trattamento di informazioni in modo massiccamente parallelo, alla crittografia per comunicazioni assolutamente sicure, fino alla realizzazione di un computer quantistico che si prevede potrà raggiungere prestazioni incomparabilmente superiori rispetto a quelle dei concorrenti basati sulle regole della logica classica.

(*) Istituto Nazionale Ottica Applicata, Firenze



Su «Science» un esperimento eccezionale sul dualismo onda-particella firmato da tre giovani ricercatori italiani

Immagini ricostruite dai dati sperimentali che illustrano (dall'alto verso il basso) la trasformazione della luce da uno stato corpuscolare di singolo fotone verso uno stato ondulatorio classico. A sinistra, Erwin Schrödinger

GENOVA / FESTIVAL DELLA SCIENZA

Tra lune galileiane e musiche leonardesche

Grande nottata di apertura per il Festival della scienza di Genova, mercoledì 27 ottobre, all'inssegna della Luna, nello Spazio Telecom Italia di Piazza delle Feste: una notte bianca per i lunatici, aspettando l'eclissi. Tutto comincerà alle 20,30 con la conferenza di Giovanni Bignami, che a quattrocento anni dalle osservazioni di Galileo presenterà un'excursus attraverso «la scienza, l'arte, la fan-



Uno strumento di Leonardo

tasia». Che è poi ciò che farà l'intero festival, con i suoi 200 eventi tra mostre, conferenze, discussioni, incontri, rassegne cinematografiche, concerti. Tra gli spettacoli serali va segnalato il concerto del 29, alle 20,30 al Teatro Duse. «La Musica ai tempi di Leonardo». Per la prima volta vengono suonati insieme tre prototipi particolarmente significativi, restituiti al mondo musicale contemporaneo dalla perizia di altret-

tanti, noti maestri liutai: la viola organista ricostruita da Akio Obuchi, la lira a teschio di cavallo ricreata da Simone Vignato e lo spettacolare organo di carta ricostruito, in una seconda versione migliorata, da Joaquín Lois, seguendone la ricerca di Joaquín Saura. Va segnalato a questo proposito il Cd appena pubblicato dalla Bottega Discantica di Milano *La figurazione delle cose invisibili. La musica a Milano al tempo*

di Leonardo, che contiene tra l'altro l'esecuzione di tre rebus musicali di Leonardo («Amore là sol mi fa remirare, sol là mi fa sollicita», «Sol la fe' mi fa (sperare)», «L'amore mi fa sollazzare»). Sempre la discantica propone «Note, numeri e ingranaggi», musiche di ispirazione scientifica e tecnologica, dalla *Scossa elettrica* di Puccini al *Petit train de plaisir* di Rossini, proposte all'organo da Maria Cecilia Farina.