

Atti

DELLA ACCADEMIA ROVERETANA DEGLI AGIATI

CCLXXIII ANNO ACCADEMICO

2023 ser. X, vol. V, B

Classe di Scienze matematiche, fisiche e naturali



SCRIPTA EDIZIONI

Francesco Prandel

Interpretazione classica dell'esperimento della doppia fenditura

ABSTRACT: The article proposes a classic interpretation of the double-slit experiment by analyzing the phenomenon it highlights in energetic terms.

KEY WORDS: Double-slit experiment, energy.

RIASSUNTO: L'articolo propone un'interpretazione classica dell'esperimento della doppia fenditura analizzando in termini energetici il fenomeno che mette in evidenza.

PAROLE CHIAVE: Esperimento della doppia fenditura, energia.

È importante tener presente che nella fisica odierna non abbiamo alcuna conoscenza di cosa sia l'energia.

Richard Feynman

Introduzione

Nella sua celebre raccolta di lezioni “La fisica di Feynman” (Feynman, 2007) il premio Nobel per la fisica statunitense, riferendosi a ciò che si osserva nell'esperimento della doppia fenditura, parla di «un fenomeno che è impossibile, assolutamente impossibile, spiegare in forma classica e che contiene in sé il cuore della meccanica quantistica». Il ragionamento esposto nel seguito si pone l'obiettivo di proporre un'interpretazione classica. La proposta interpretativa sfrutta il principio di conservazione dell'energia per indagare il processo che avviene nelle diverse parti dell'apparato sperimentale.

Fin quando la riduzione del pacchetto d'onda sarà una componente essenziale, e fin quando non sapremo esattamente quando e in che modo essa sostituisce l'equazione di Schrodinger, noi non avremo una formulazione esatta e non ambigua della nostra teoria fisica più fondamentale.

John S. Bell

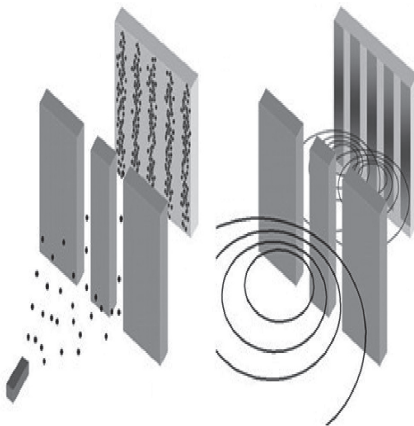
Esposizione

Nel caso dell'elettrone l'esperimento della doppia fenditura si può eseguire puntando un tubo catodico su una lastra fotografica, e interponendo uno schermo nel quale sono state praticate due feritoie. Alimentando il tubo catodico si osserva che sulla lastra fotografica compaiono delle macchie puntiformi, e che queste macchie si distribuiscono in un modo decisamente controintuitivo.

Generalmente, i testi che descrivono l'esperimento (Ghirardi, 2003) iniziano precisando che l'alimentazione viene regolata in modo che il tubo catodico emetta «un solo elettrone per volta». A mio parere questa precisazione è espressa in modo fuorviante, perché lo scopo dell'esperimento è proprio quello di indagare la natura dell'elettrone, e affermare che il tubo catodico emette «un elettrone alla volta» vuol dire avere già qualche preconcetto sul suo conto. Significa avere già deciso che l'elettrone è una particella che, in qualche modo, passa dal tubo catodico alla lastra. In maniera meno pregiudizievole, questo accorgimento sperimentale può forse essere espresso affermando che

l'alimentazione del tubo catodico viene regolata in modo tale che l'intervallo di tempo medio compreso tra la comparsa di una macchia e l'apparire della successiva sia maggiore del tempo che l'elettrone impiega a raggiungere la lastra.

La figura 2 mostra la lastra come si presenta «dopo l'invio» di (a) 10, (b) 200, (c) 6.000, (d) 40.000, (e) 140.000 elettroni. Anche questo modo di esprimersi può risultare pregiudizievole – dunque potenzialmente fuorviante – per la ragione appena esposta. Mi sembra più corretto affermare che la figura



1. Esperimento della doppia fenditura.

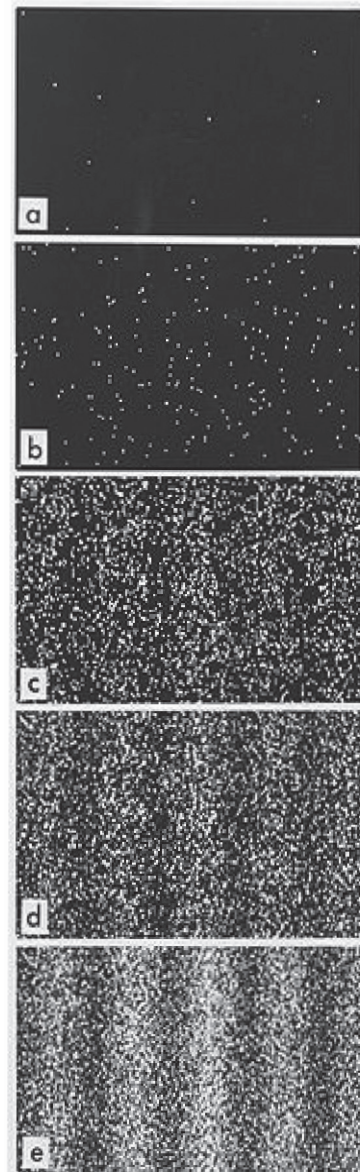
a fianco (wikipedia.org) mostra la lastra fotografica come si presenta dopo la formazione dei numeri di macchie appena elencati.

Si osserva che, quando sono ancora poche, le macchie sembrano distribuite a caso. A mano a mano che il loro numero aumenta, danno luogo ad un'immagine sempre più nitida, quella di una figura di interferenza. Che cosa esce, allora, dal tubo catodico?

Questo dispositivo trasforma l'energia elettrica che lo alimenta in qualche altra forma di energia. La quale, in qualche modo, attraverso le fenditure e arriva fino alla lastra (se le fenditure sono chiuse la lastra rimane vergine). A sua volta, la lastra trasforma l'energia proveniente dal tubo catodico in energia chimica, tramite le reazioni irreversibili che avvengono nell'emulsione fotografica e che ne cambiano il colore. In che modo avviene questo trasferimento di energia dal tubo catodico alla lastra? Quali ne sono i vettori?

La comparsa di macchie puntiformi sulla lastra mostra che l'energia proveniente dal tubo catodico arriva sotto forma di particelle, intendendo con ciò affermare che l'energia non solo non è distribuita uniformemente nello spazio, ma anche che la sua densità spaziale non varia con continuità perché presenta delle discontinuità locali. Inoltre, le macchie hanno tutte la stessa dimensione, il che fa pensare che queste particelle trasportino tutte la stessa quantità di energia.

La distribuzione delle macchie mostra che queste particelle non si muovono di moto rettilineo e uniforme, che c'è qualcosa che le devia e impedisce



2. Esito dell'esperimento.

loro di imprimere sulla lastra l'immagine più o meno sfocata e sgranata delle fenditure. In altri termini, la distribuzione delle macchie mostra che, oltre alle particelle, c'è qualcos'altro, cioè che le particelle non sono l'unica forma di energia proveniente dal tubo catodico. Cos'altro può esserci?

L'unica possibilità sembrerebbe essere quella di ipotizzare che le particelle siano soggette a un *potenziale* piuttosto particolare, che ne determina le *traiettorie* in modo da riprodurre la figura di interferenza.¹ Questo se si richiede che le particelle siano *persistenti*, cioè che mantengano il loro carattere individuale più a lungo di quanto impieghino a passare dalle fenditure alla lastra.

Se invece si rilascia questa richiesta, se si ammette la possibilità che le particelle siano *effimere*, è sufficiente ipotizzare che siano in *equilibrio dinamico* con un *campo oscillante* che le crea nelle regioni in cui interferisce costruttivamente, esponendole all'interazione con la lastra, e le distrugge nelle regioni in cui interferisce distruttivamente, sottraendole all'interazione con la lastra. Per non dover introdurre potenziali *ad hoc*, nel seguito considererò questa seconda ipotesi.

Per il principio di conservazione dell'energia, il carattere effimero delle particelle assegna e richiede anche al campo una certa *densità di energia*, in questo caso variabile nello spazio e nel tempo. Inoltre, come appena osservato, la lastra fotografica mostra chiaramente che il trasferimento di energia avviene attraverso le particelle, mentre l'ipotetico campo oscillante che le emette e le assorbe non interagisce con l'emulsione pur presentando anch'esso una densità di energia non nulla (la lastra presenta macchie bianche su sfondo nero, non ci sono zone grigie).² Sembra dunque ragionevole assumere che la densità energetica delle particelle, anche in virtù del loro carattere *locale*, sia non solo costante, ma anche maggiore di quella del campo, che presenta densità di energia variabile e carattere *non locale*. In particolare, la distribuzione delle macchie richiede di identificare l'*intensità* del campo con la sua *densità di energia*. In questo modo le regioni in cui i campi oscillanti provenienti dalle fenditure interferiscono costruttivamente, si identificano con quelle in cui il campo risultante ha una densità di energia tale da emettere particelle, mentre le regioni in cui l'interferenza risulta distruttiva si identificano con

¹ La teoria dell'onda pilota di D. Bohm introduce un *potenziale quantistico* per render conto del fenomeno (Bell, 2010).

² Nell'interpretazione qui proposta, questo secondo aspetto dell'energia assume un ruolo per certi versi simile a quello che la cosiddetta "energia oscura" riveste in cosmologia: un'energia che non si riesce a rilevare direttamente, ma di cui viene ipotizzata l'esistenza per render conto di ciò che si osserva.

quelle in cui il campo risultante ha una densità di energia tale da assorbirle. In quest'ottica è ragionevole attendersi che le particelle siano più *persistenti* dove e quando il campo è più intenso, cioè più denso di energia, e più *effimere* dove e quando questo campo è meno intenso, cioè meno denso di energia.³

Per render conto dell'evidenza sperimentale ho ipotizzato che il tubo catodico generi un campo che emette e assorbe particelle, cioè che il campo e le particelle siano estremi di un *equilibrio dinamico*. Ciò richiede di intenderli come aspetti *omogenei* dell'energia trasmessa dal tubo catodico alla lastra, cioè come aspetti *sostanzialmente identici* ma *formalmente differenti* del flusso energetico che interessa l'apparato sperimentale. In quest'ottica, pertanto, il carattere *oscillante* che l'evidenza sperimentale richiede di attribuire al campo va riconosciuto anche alle particelle, ma deve declinarsi in maniera differente su questi due aspetti dell'energia trasmessa dal tubo catodico alla lastra. Poiché l'evidenza sperimentale richiede di assegnare alle oscillazioni del campo una simmetria *traslazionale*, sembra ragionevole attribuire a quelle delle particelle una simmetria *rotazionale*. In altri termini, se la fase del campo è parametrizzata da momenti – e dipende da variabili – *lineari*, pare ragionevole presumere che quella delle particelle sia parametrizzata da momenti – e che dipenda da variabili – *angolari*.

Poiché le *componenti* del campo non sono locali, gli scambi energetici *locali* dovuti all'emissione e all'assorbimento di particelle comportano variazioni *non locali* della densità di energia del campo. Se la potenza del tubo catodico

³ La circostanza è lontanamente analoga a quella che si verifica nella *nebbia*, in cui le goccioline d'acqua – che diffrangono la luce rendendola opaca – si formano continuamente dall'aria umida e in essa continuamente si dissolvono. Si formano e persistono più a lungo nelle zone in cui l'aria è più umida, si dissolvono e persistono meno a lungo nelle zone in cui l'aria è più secca, cosicché, nel complesso, il processo conserva la quantità d'acqua totale.

Aumentando il tasso di umidità dell'aria, cioè aumentando la densità dell'acqua nell'aria, il vapore acqueo tende a condensare, cioè a passare allo stato liquido (in cui la densità dell'acqua è maggiore che nel vapore). Viceversa, diminuendo il tasso di umidità dell'aria, le goccioline d'acqua tendono ad evaporare, cioè a passare allo stato di vapore (in cui la densità dell'acqua è minore che nell'acqua liquida). Si pensi, ad esempio, alla perturbazione prodotta da un'onda sonora – cioè da un'onda di pressione – che attraversa la nebbia comprimendone alcune parti e rarefacendone altre. Nelle zone in cui l'aria umida viene compressa aumenta la densità dell'acqua allo stato di vapore, e dunque la pressione di vapore, il che favorisce la sua condensazione e quindi la formazione di goccioline d'acqua. Viceversa, nelle zone in cui l'aria umida viene rarefatta, diminuisce la densità dell'acqua allo stato di vapore, e dunque la pressione di vapore, il che favorisce l'evaporazione delle goccioline. In altri termini, l'equilibrio dinamico che caratterizza la nebbia reagisce alle perturbazioni in maniera da minimizzarne gli effetti (principio di Le Chatelier, o dell'equilibrio mobile), cioè in modo tale da ripristinare lo *stato di equilibrio*, quello stato del sistema in cui la velocità di condensazione del vapore eguaglia la velocità di evaporazione del liquido.

è sufficientemente bassa, la densità di energia del campo - anche nelle zone caratterizzate da interferenza costruttiva - presenta valori tali per cui la formazione di una particella, sottraendo energia al campo, cioè comportando una diminuzione *non locale* della sua densità energetica, impedisce la formazione di ulteriori particelle in *ogni* altra parte dell'apparato sperimentale, il ché può dare l'impressione che il tubo catodico emetta "un solo elettrone per volta".

Nella nuova visione del mondo, i due sistemi irriducibili della fisica classica, particelle e campi, quello paradigma del discreto, quelli del continuo, vengono in qualche modo, arcano e incomprensibile, a fondersi in un "unicum" in cui la discontinuità del quanto e la continuità del campo si tramutano incessantemente l'una nell'altra, a seconda dell'interazione con l'osservatore.

Giuliano Preparata

Conclusione

Sulla scorta di quanto considerato, sembra possibile interpretare l'esito dell'esperimento della doppia fenditura in termini puramente classici, a condizione che campi e particelle non vengano intesi come aspetti irriducibili dell'energia, ma come estremi di un equilibrio dinamico.

Bibliografia

- Bell J.S., 2010, *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*, Adelphi, Milano.
Feynman R., 2007, *La fisica di Feynman*, Zanichelli, Bologna.
Ghirardi G.C., 2003, *Un'occhiata alle carte di Dio*, Il Saggiatore, Milano.
https://it.wikipedia.org/wiki/Esperimento_della_doppia_fenditura.