

DIEGO BISERO

MECCANICA QUANTISTICA E FILOSOFIA:
INTERVISTA IMPOSSIBILE A W. HEISENBERG
(1901-1976)

ABSTRACT - BISERO D., 2013 - Quantum mechanics and philosophy: impossible interview to W. Heisenberg (1901-1976).

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 263, 2013, ser. IX, vol. III, B: 37-44.

The author imagines to interview the Nobel Laureate in Physics of the year 1932, who has been one of the Founding Fathers of quantum mechanics, and other distinguished colleagues. The answers of W. Heisenberg and his colleagues are based on the *Nobel Lecture* that Heisenberg delivered during the Nobel Prize Award Ceremony and other texts.

KEY WORDS - Quantum mechanics, Uncertainty principle, Copenhagen interpretation.

RIASSUNTO - BISERO D., 2013 - Meccanica quantistica e filosofia: intervista impossibile a W. Heisenberg (1901-1976).

L'autore immagina di intervistare il premio Nobel per la fisica del 1932, uno dei padri fondatori della meccanica quantistica, assieme ad alcuni suoi colleghi illustri. Le risposte di W. Heisenberg e dei colleghi sono basate sulla *Nobel Lecture* che Heisenberg ha tenuto in occasione della consegna del Premio Nobel e su altri testi.

PAROLE CHIAVE - Meccanica quantistica, Principio di indeterminazione, Interpretazione di Copenhagen.

Heisenberg mi ha dato appuntamento nella sala riunioni del Centro Congressi. Mi ha fatto sapere che è impegnatissimo e dovrà rinunciare a un *coffee break* per dedicarmi un quarto d'ora e rispondere alle mie domande. Entro nella sala riunioni, mi siedo ed estraggo dalla cartella i fogli con le domande. So ormai per esperienza che non servono a molto, perché la conversazione prenderà poi una piega che ora non posso

prevedere; ma sono sicuro che le domande che ho preparato costituiranno comunque una buona base di partenza per l'intervista. Dopo mezzora di attesa, la porta si spalanca all'improvviso e Werner Heisenberg, in persona, entra nella sala riunioni, sedendosi di fronte a me. Non ho nemmeno il tempo di emozionarmi: mi chiede subito di scusarlo, perché ha pochissimo tempo. È entrato e si è seduto talmente in fretta che i fogli che avevo davanti si sono spostati, svolazzando, di mezzo metro.

Caro Professore, mi permetta intanto di ringraziarLa per avermi concesso...

Mi sorride e mi fa segno di andare avanti, come se non volesse perdere tempo in convenevoli. Credo di non avere scelta e parto in quarta con le domande!

Per capire quanto il principio di indeterminazione sia incompatibile con il concetto di traiettoria le domando innanzi tutto: come può essere osservata la traiettoria di un elettrone?

«Gli esperimenti necessari per definire la traiettoria di un elettrone aiutano a rivedere il concetto stesso di traiettoria. La risposta più ovvia alla sua domanda è: per osservare la traiettoria di un elettrone bisogna usare un microscopio con grande risoluzione. Ma poiché il campione in questo microscopio dovrebbe essere illuminato con luce di lunghezza d'onda estremamente corta, il primo quanto della sorgente luminosa che raggiunge l'elettrone e passa nell'occhio dell'osservatore spingerebbe l'elettrone completamente al di fuori della sua traiettoria (in accordo con le leggi dell'effetto Compton). Conseguentemente solo un punto della traiettoria risulterebbe osservabile sperimentalmente».

Il mio tentativo di conoscere la traiettoria dell'elettrone perturba irrimediabilmente il suo stato e la natura stessa di ciò che voglio conoscere. Non esiste dunque un mondo al di fuori di me, che attende di essere misurato e conosciuto, ma sembra piuttosto che l'interazione fra oggetto e osservatore costituisca la realtà ultima...

Nella meccanica quantistica noi possiamo procedere senza menzionare noi stessi come individui, ma non possiamo trascurare il fatto che la scienza naturale è formata da uomini. La scienza naturale non descrive e spiega semplicemente la natura; essa è una parte dell'azione reci-

proca fra noi e la natura; descrive la natura in rapporto ai sistemi usati da noi per interrogarla. È qualcosa, questo, cui Cartesio poteva non aver pensato, ma che rende impossibile una netta separazione fra il mondo e l'Io.

Ed ecco che la fisica sconfinava nella filosofia. Trovo molto interessante questo aspetto della meccanica quantistica. D'altra parte nella sua vita Lei ha sempre cercato di diminuire il divario, per certi versi incomprendibile, fra cultura scientifica e cultura umanistica.

Heisenberg annuisce soddisfatto; ho la netta impressione di avere toccato il tasto giusto.

Questo incontro fra due discipline, fisica e filosofia, che siamo abituati erroneamente a separare, è un bel successo in questa direzione. Cartesio in effetti sosteneva che la conoscenza empirica può essere formulata senza ricorrere a noi stessi (separazione fra il mondo e l'Io) e favorì la separazione fra «res cogitans» e «res extensa», ovvero fra materia e spirito. La teoria quantistica risulta in contraddizione con le idee di Cartesio, anche se alcuni dei «padri fondatori» della meccanica quantistica sembrano non volersi sganciare facilmente dal pensiero cartesiano. Einstein, giusto per fare un esempio, sostiene che «l'idea di un mondo esterno indipendente dal soggetto che lo percepisce è la base di tutta la scienza naturale». Che ne pensa?

Le difficoltà che eminenti scienziati, come Einstein, hanno incontrato per intendere ed accettare la teoria quantistica, si possono far risalire proprio alla divisione cartesiana di materia e spirito. Tale divisione è penetrata profondamente nella mente umana durante i tre secoli che seguono Cartesio e ci vorrà molto tempo perché possa esser sostituita da un atteggiamento veramente diverso nei riguardi del problema della realtà. L'atteggiamento di Einstein, d'altra parte, è naturalissimo. Ogni scienziato sente di essere alla ricerca di qualche cosa di oggettivamente vero. Le sue affermazioni non sembrano dover dipendere dalle condizioni in base alle quali possono essere verificate. Specialmente in fisica, il fatto che noi possiamo spiegare la natura per mezzo di semplici leggi matematiche ci dice che abbiamo a che fare con dei caratteri genuini della realtà e non con qualche cosa che abbiamo – in qualsiasi significato del termine – inventato noi stessi. Questa è la situazione che Einstein aveva in mente quando assunse il realismo dogmatico come base per la scienza della natura. Ma proprio la teoria quantistica è un esempio della

possibilità di spiegare la natura per mezzo di semplici leggi matematiche senza dover poggiare su quella base. Può essere che queste leggi non appaiano propriamente semplici se paragonate a quelle della meccanica newtoniana. Ma tenendo conto della complessità enorme dei fenomeni che debbono essere spiegati (per esempio gli spettri a righe di atomi complicati), lo schema matematico della teoria quantistica è comparativamente semplice.

E Cartesio e Einstein li abbiamo sistemati...

Sbatto le mani aperte una contro l'altra, due volte. Heisenberg sorride ...

... a onor del vero, molti sono i filosofi il cui pensiero andrebbe rivisto alla luce della fisica moderna. Uno su tutti è Kant, che sosteneva la possibilità di formulare «giudizi sintetici a priori». Lo spazio e il tempo, egli affermava, sono forme a priori dell'intuizione pura. Kant assunse a priori anche la legge di causalità e la legge di conservazione della materia. Non mi sembra che le sue idee vadano molto d'accordo con la fisica moderna...

Sembra a prima vista che il concetto centrale di Kant dei «giudizi sintetici a priori» sia stato completamente annichilito dalle scoperte della fisica moderna. La teoria della relatività ha mutato le nostre concezioni sullo spazio e sul tempo, ha rivelato in effetti aspetti del tutto nuovi dello spazio e del tempo, di cui non si ha traccia nelle forme a priori kantiane dell'intuizione pura. La legge di causalità non è più applicata nella teoria quantistica e la legge di conservazione della materia non risulta più vera per le particelle elementari. Naturalmente Kant non poteva prevedere le nuove scoperte, ma poiché era convinto che i suoi concetti sarebbero stati «la base di ogni futura metafisica che si presenti in forma di scienza» è interessante constatare come i suoi argomenti siano stati erronei.

Torniamo ora alle critiche, che provengono da fonti autorevoli del mondo scientifico. L'interpretazione ortodossa della meccanica quantistica è conosciuta come interpretazione di Copenaghen, a partire dalle origini del fisico danese Niels Bohr; a Lei e a Bohr si deve principalmente questa interpretazione. Come Lei ha già accennato riferendosi ad Einstein molte sono state le critiche e le controproposte

all'interpretazione di Copenaghen della teoria quantistica. Ce ne vuole parlare?

L'interpretazione di Copenaghen della teoria quantistica ha condotto i fisici lontano dalle semplici concezioni materialistiche che prevalsero nelle scienze naturali del diciannovesimo secolo. Giacché queste concezioni erano state non solo intrinsecamente connesse con la scienza della natura di quel periodo, ma avevano anche trovato un'analisi sistematica in più d'un sistema filosofico ed erano profondamente penetrate anche nelle menti degli uomini comuni, si può ben comprendere come siano stati operati molti tentativi per criticare l'interpretazione di Copenaghen e per sostituirla con una più in linea con i concetti della fisica classica o della filosofia materialistica. Questi tentativi possono essere divisi in tre gruppi diversi.

Il primo gruppo non vuole cambiare l'interpretazione di Copenaghen per quel che si riferisce alle previsioni dei risultati sperimentali, ma si adopera per cambiare il linguaggio di questa interpretazione in modo da ottenere una più stretta rassomiglianza alla fisica classica. In altre parole, esso cerca di cambiarne la filosofia senza attaccarne la fisica.

Il secondo gruppo accetta l'interpretazione di Copenaghen come l'unica adeguata, se i risultati sperimentali concordano ovunque con le previsioni. Perciò gli scritti degli autori di questo gruppo cercano di modificare la teoria quantistica in alcuni punti critici.

Il terzo gruppo, infine, si limita ad esprimere la sua insoddisfazione generale nei riguardi dell'interpretazione di Copenaghen e soprattutto delle sue conclusioni filosofiche, senza avanzare controproposte ben definite. Scritti di Einstein, von Laue e Schrödinger appartengono a questo terzo gruppo che è stato in ordine di tempo il primo dei tre.

Tuttavia, tutti gli oppositori dell'interpretazione di Copenaghen concordano in un punto. Sarebbe desiderabile, secondo loro, ritornare al concetto di realtà della fisica classica o, per usare un termine filosofico generale, all'ontologia del materialismo. Essi preferirebbero ritornare all'idea d'un mondo reale oggettivo le cui particelle minime esistono oggettivamente nello stesso senso in cui esistono pietre ed alberi, indipendentemente dal fatto che noi le osserviamo o no. Ciò è tuttavia impossibile o almeno non interamente possibile a causa della natura dei fenomeni atomici. Il nostro compito non può essere quello di formulare voti su come dovrebbero essere i fenomeni atomici ma soltanto quello di intenderli.

Heisenberg a questo punto si interrompe e mi fa cenno di seguirlo. Il gesto è stato perentorio e decido di obbedire senza chiedere spiegazioni. Arriviamo davanti a una porta dalla quale penzola un foglio, attaccato malamente, con la scritta: «Club degli SCETTICI – Sala da gioco». Heisenberg ride guardando il foglio, mi apre la porta, indicandomi di entrare, e se ne va. Seduti intorno a un tavolo riconosco, fra gli altri, tre fisici eminenti: Einstein, de Broglie e Schrödinger. Stanno lanciando dei dadi sopra a un tabellone, sul quale sono distribuite delle pedine; non sono abbastanza vicino per distinguere i dettagli, ma credo si tratti del gioco dell’oca. Mi consola il pensiero che anche dei Premi Nobel si divertano con un’attività apparentemente così sciocca, seppure rilassante. O stanno forse, oltre ai dadi, lanciando dei messaggi? Non lo so. Sta di fatto che solo de Broglie sembra interessarsi al mio arrivo: alza lo sguardo con fare interrogativo, come se intuisse che ho bisogno di lui. Mi avvicino intimidito, mentre penso soddisfatto che ho migliorato il mio record precedente, stabilito con l’intervista a Davisson e Thomson: questa volta di fronte a me ho ben 3 Premi Nobel! Peccato che Heisenberg se ne sia andato! Mi rivolgo a de Broglie, con l’idea di rispondere al suo sguardo interrogativo:

Buongiorno, scusate il disturbo, ma stavo intervistando il Prof. Heisenberg nella sala riunioni qui a fianco quando, mentre si parlava di critiche alla interpretazione di Copenaghen, mi ha condotto in questa stanza... immagino volesse farmi parlare direttamente con chi queste critiche le ha formulate.

De Broglie si alza e mi tende la mano. Ci presentiamo e gli chiedo se può dirmi il suo punto di vista sull’argomento. Mi risponde cortesemente, mentre gli altri continuano imperterriti a lanciare dadi.

«Possiamo accettare ragionevolmente che l’atteggiamento adottato per circa trent’anni dai fisici quantistici teorici sia, almeno in apparenza, l’esatta controparte delle informazioni che gli esperimenti ci forniscono a proposito del mondo atomico. Al livello ora raggiunto dalla ricerca in microfisica è certo che i metodi di misura non ci permettono di determinare simultaneamente tutte le grandezze che sarebbero necessarie per ottenere una visione di tipo classico dei corpuscoli (questo può essere dedotto dal principio di indeterminazione di Heisenberg), e che le perturbazioni introdotte dalla misura, che sono impossibili da eliminare, ci impediscono in generale di predire precisamente i risultati che essa produrrà e ci permettono solo previsioni statistiche. La costruzione di formule puramente probabilistiche che tutti i teorici usano oggi

fu perciò completamente giustificata. Tuttavia, la maggior parte di loro, spesso sotto l'influenza di preconcetti derivati dalla dottrina positivista, hanno pensato di potersi spingere oltre ad affermare che il carattere incompleto e incerto della conoscenza che l'esperimento al suo livello attuale ci fornisce a proposito di ciò che realmente accade in microfisica sia il risultato di una reale indeterminazione degli stati fisici e della loro evoluzione. Una simile estrapolazione non sembra essere giustificata in nessun modo. È possibile che guardando in futuro fino a un livello più profondo della realtà fisica saremo in grado di interpretare le leggi della probabilità e della fisica quantistica come i risultati statistici dello sviluppo di valori completamente determinati di variabili che risultano attualmente nascoste. Provare a fermare tutti i tentativi di andare oltre il punto di vista attuale della fisica quantistica potrebbe essere molto pericoloso per il progresso della scienza e risulterebbe inoltre contrario alle lezioni che possiamo imparare dalla storia della scienza. Essa ci insegna, in effetti, che lo stato attuale della nostra conoscenza è sempre provvisorio e che devono esistere, oltre ciò che è noto, nuove regioni immense da scoprire».

Ringrazio de Broglie per la sua disponibilità e mi sposto verso Einstein, che non mi degna di uno sguardo.

Prof. Einstein, mi scusi...

Mi guarda come si fa di solito con i rompiscatole... in effetti non posso biasimarlo; sta cercando di rilassarsi nei pochi minuti di pausa che gli rimangono, prima della prossima presentazione, e io lo sto chiaramente disturbando. D'altra parte è stato Heisenberg a portarmi qua, cosa dovrei fare?... comincio a temere che volesse soltanto liberarsi di me e che pensasse che mi sarei unito al tavolo dei giocatori! Comunque sia, credo che non mi ricapiterà un'occasione simile e decido di insistere. A dire il vero non so bene neanche io da che parte cominciare; non potevo certo prevedere questa conversazione e, ancora di più, la poca loquacità del mio interlocutore. Potrei chiedergli del paradosso di Einstein, Podolsky e Rosen, ma non è un argomento che si possa liquidare in pochi minuti; la situazione sta diventando spiacevolmente imbarazzante... ecco, gli chiederò del dibattito con Bohr.

... se ha un minuto vorrei farLe una domanda: ricordo il dibattito fra Lei e Bohr come una delle pagine più affascinanti nella storia della fisica. Heisenberg formulò il principio di indeterminazione sulla base di esperimenti ideali; utilizzando la stessa tecnica Lei lanciò delle vere

e proprie sfide a Bohr, inventando esperimenti ideali che miravano a confutare il principio di indeterminazione. Il fisico danese rispose puntualmente alle Sue sfide, tanto che Lei finì per riconoscere la consistenza logica della teoria e il suo accordo con i dati sperimentali.

Einstein riprende i dadi in mano e li lancia; sembra scocciato. Mi rendo conto di non essere stato molto diplomatico, ma la situazione mi ha colto di sorpresa e poi non ho detto nulla che non si sapesse già; respingo l'imbarazzo e proseguo.

Mi piacerebbe sapere cosa pensa dell'abbandono della causalità a favore dell'interpretazione statistica, operata dalla teoria quantistica ortodossa.

Una voce al microfono annuncia che la sessione plenaria sta per cominciare in Aula Magna. Tutti si alzano e si dirigono verso la porta. Einstein abbandona i dadi sul tavolo e segue il fiume di fisici; mi guarda mentre cammina e, scuotendo la testa, mi dice con voce decisa:

«Dio non gioca a dadi con l'Universo!»

Poi si gira verso Schrödinger, che non mi ha mai guardato da quando sono arrivato, e comincia a parlargli. Sembra un congedo.

Meglio cambiare aria. Esco anch'io dalla stanza e torno in sala riunioni, ma Heisenberg è sparito; sarà anche lui in Aula Magna. Chiedo al punto informazioni quando terminerà la sessione plenaria e mi dicono che durerà ancora due ore. Bene, a questo punto la mia missione è terminata.

BIBLIOGRAFIA

BOHM D., *Causality and Chance in Modern Physics*, Harper Edition, 1961.

HEISENBERG W., *Fisica e oltre*, Bollati Boringhieri, Torino, 1984.

Nobel Lectures, Physics 1922-1941, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1965.