

John Bell's scientific correspondence in the early 1970s

Angela Laurora – Università degli Studi di Bari Aldo Moro –
angela.laurora@uniba.it; Augusto Garuccio – Università degli Studi di Bari Aldo
Moro – augusto.garuccio@uniba.it

Abstract: It's well known the role of John Bell's article *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, published in 1964, for having aroused a renewed interest toward the research about Quantum Mechanics foundations, though only after some years it was observed the consequences in stimulating and orienting the reflection and the research work of physicists concerned with the topic. In fact, the interest and the participation in the debate expanded following the article by Clauser, Horne, Holt and Shimony in 1969 on the proposal of experimental tests on Bell's inequality verify, as well as after contributions and discussion at Varenna Conference in 1970 and the outcomes publication of first generation experimental tests conducted between 1972 and 1976. From John Bell's scientific correspondence 10 unpublished letters are selected and, from November 1970 to January 1980, these documents testify and confirm an increased involvement in the research on Quantum Mechanics foundations and involve, as interlocutors of the correspondence, authors such as Max Jammer, Daniel Evrard, Francois Bonsack Chabat, Louis de Broglie, David Bohm and Basil Hiley.

Keywords: John Bell, Quantum Mechanics, experimental tests on Bell's inequality, 1970 Varenna Conference, scientific correspondence.

1. Introduzione

All'inizio degli anni Settanta un rinnovato interesse per la ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica si manifestò a seguito della pubblicazione nel 1964 dell'articolo di John Bell (1928-1990) *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, i cui effetti nello stimolare la riflessione e nell'orientare il lavoro di ricerca dei fisici interessati si ebbero, infatti, solo qualche anno dopo, poiché per i cinque anni seguenti la pubblicazione non vi fu quasi alcun interesse per ciò che Bell aveva scritto né giunse all'autore alcuna richiesta di reprint dell'articolo.

Il lavoro di Bell riprendeva il problema scientifico della completezza della descrizione quantistica della realtà fornita dalla funzione d'onda ψ sollevato nel lontano 1935 su *Physical Review* da Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen nell'articolo *Can Quantum-Mechanical description of physical reality be considered complete?* (Einstein *et al.* 1935). I tre autori in questo articolo, che è ormai noto come paradosso EPR dalle iniziali degli autori, esposero una profonda critica all'interpretazione domi-

nante della Meccanica Quantistica (la cosiddetta interpretazione di Copenhagen), partendo dall'analisi di un esperimento ipotetico su un sistema fisico correlato, cioè considerando la descrizione quanto-meccanica di due oggetti correlati, quali ad esempio quelli risultanti dal decadimento di una particella.

Da sostenitore della posizione critica di Einstein verso l'interpretazione di Copenhagen, Bell decise di riprendere l'esperimento ipotetico EPR nella versione formulata nel 1961 dal fisico inglese di David Bohm¹ ritenendo di poter contribuire al progresso nella ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica se fosse riuscito a stabilire in modo rigoroso una teoria causale e locale che riproducesse le correlazioni quantistiche.

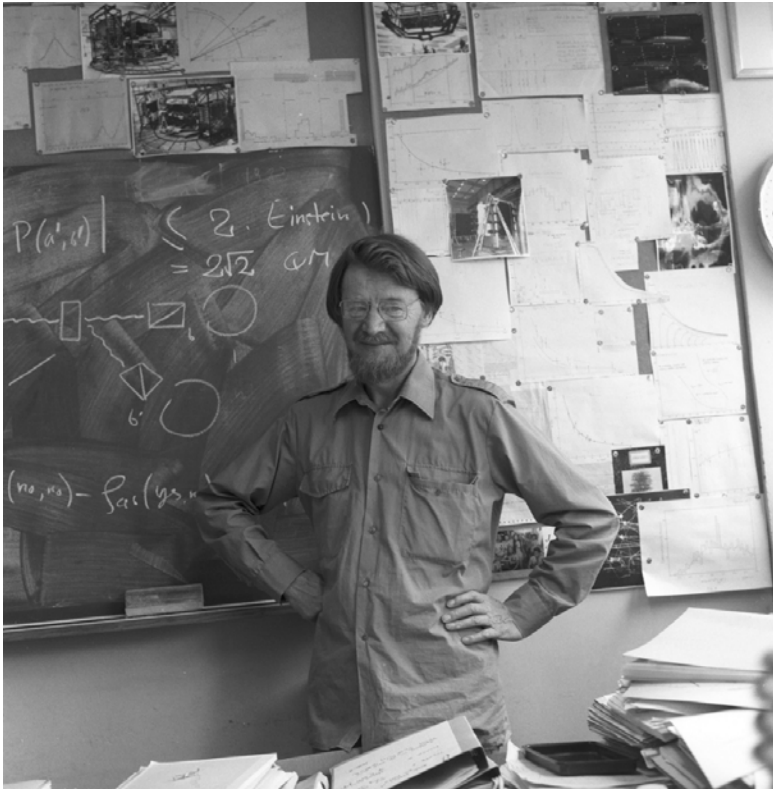


Fig. 1. Ritratto di John Stewart Bell al CERN, giugno 1982 [online]. URL: <<https://cds.cern.ch/record/1823937>> [data di accesso: 16/04/2019].

¹ Il dibattito sulla questione aperta da Einstein, Podolsky e Rosen fu reso prudente da un'opera precedente di von Neumann, *Mathematical foundations of Quantum Mechanics* (1932), che aveva mostrato l'impossibilità di completare la Meccanica Quantistica nei termini causali e locali proposti da Einstein. Nel 1952, tuttavia, David Bohm (1917-1992) pubblicò l'articolo *A suggested interpretation of the Quantum Theory in terms of "hidden" variables* in cui mostrò possibile tale completamento della Meccanica Quantistica e riformulò i termini del paradosso (Bohm 1952).

Il lavoro però giunse, mediante una formulazione matematica delle ipotesi di causalità e località (teorie a variabili nascoste), ad un risultato per certi versi inatteso: la dimostrazione dell'incompatibilità di ogni teoria causale e locale con le previsioni della Meccanica Quantistica, evidenziando come il problema fosse nella condizione stessa di località, cioè nell'assunzione che il risultato di una misura eseguita su di un sistema quantistico non sia influenzato dalla misura su un altro sistema distante e con cui abbia interagito in passato. Bell considerò una coppia di particelle di spin $1/2$ nello stato di singoletto che si muovevano in direzioni opposte e analizzò le misure delle componenti di spin lungo tre direzioni arbitrarie a , b e c . Poi considerò le probabilità congiunte P della misura dello spin su entrambe le particelle lungo due delle tre direzioni a , b e c (cioè il valore di aspettazione del prodotto delle misure delle componenti di spin), e dedusse, per ogni teoria causale e locale, la seguente diseuguaglianza:

$$1 + P(b, c) \geq |P(a, b) - P(a, c)|$$

che mette in relazione le probabilità della misura dello spin. Mostrò, quindi, come il valore di aspettazione quantistico per queste probabilità congiunte, non soddisfi tale diseuguaglianza, dimostrando quindi l'incompatibilità di ogni teoria a variabili nascoste con le previsioni della Meccanica Quantistica. L'importante risultato che egli ottenne sulla base delle ipotesi esaminate, è stato in seguito chiamato Teorema di Bell o Diseuguaglianza di Bell.

Al lavoro di Bell prestarono particolare attenzione John Clauser (1942-) e Abner Shimony (1928-2015), due protagonisti delle ricerche sul paradosso EPR, i cui lavori sulla diseuguaglianza di Bell, sebbene avviati in modo indipendente, in seguito si incrociarono per congiungersi in un comune lavoro pubblicato nel 1969, insieme a Michael Horne (1943-) e Richard Holt (1942-). Solo a seguito della pubblicazione di tale articolo (Clauser *et al.* 1969), che conteneva una specifica proposta di test sperimentali per la verifica della diseuguaglianza di Bell, ma pure dei contributi e della discussione al convegno di Varenna nel 1970 (d'Espagnat (ed.) 1971), si diffuse nella comunità dei fisici l'interesse e la partecipazione al dibattito, successivamente accresciuti per la pubblicazione dei risultati riguardanti la prima generazione di test sperimentali condotti tra il 1972 e il 1976 (Clauser, Freedman 1972).

Se, quindi, è ormai noto il ruolo del lavoro pionieristico di John Bell nell'aver suscitato tale discussione, una testimonianza e una conferma del diffondersi dell'interesse nella ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica durante i primi anni '70 si ricavano dalla sua corrispondenza scientifica recentemente ritrovata ed analizzata e in particolare da 10 lettere inedite che coinvolgono, in qualità d'interlocutori del carteggio, autori come Max Jammer, Daniel Evrard, Francois Bonsack-Chabat, Louis de Broglie, David Bohm e Basil Hiley.

2. Il Convegno di Varenna

L'articolo di Clauser, Horne, Shimony e Holt (CHSH) aveva destato interesse tra i fisici e probabilmente aveva fatto conoscere a molti di loro il lavoro pionieristico di Bell pubblicato nel 1964. Tra questi c'era Franco Selleri (1936-2013), uno dei protagonisti della storia sulle ricerche del paradosso EPR e che già dalla fine degli anni '60 aveva sviluppato un atteggiamento critico nei confronti dell'interpretazione della teoria dei quanti. Egli fornirà in seguito importanti contributi sia al chiarimento delle idee alla base dei fondamenti della Meccanica Quantistica, sia allo sviluppo dell'indagine sperimentale sulla verifica del teorema di Bell. Selleri alla fine degli anni '60 aveva suggerito, come membro del consiglio direttivo della "Società italiana di fisica" (SIF), che nell'ambito delle attività della Scuola internazionale di fisica "Enrico Fermi"² si dedicatesse una specifica scuola estiva ai fondamenti della Meccanica Quantistica. L'idea fu accolta dagli altri membri che manifestarono, come ricorda Selleri in un'intervista, «only a certain cautiousness» (*Interview of Franco Selleri by Olival Freire on 2003 June 24*).

Selleri, a distanza di anni, continuò a sottolineare l'interesse suscitato dal convegno soprattutto tra i giovani fisici:

The 1970 Varenna Summer School was accepted very well, especially by young physicists. That was a wonderful moment after the student unrest that had been very active in the physics departments. People were also very strong and motivated towards new ideas. [...] It was a very good choice, but you see, that was a moment in which so to say the foundations of Quantum Mechanics became, if I may use the expression, a mass activity. It's not really true, but I mean compared with before (*Interview of Franco Selleri by Olival Freire on 2003 June 24*).

2.1. Bell, Selleri e la cartolina

Selleri ha dedicato gran parte della sua attività didattica extrauniversitaria e di divulgazione a spiegare con approccio storico-critico al lettore meno esperto alcuni degli argomenti più complessi della fisica moderna, tra i quali anche la disuguaglianza di Bell con il suo significato e le sue implicazioni, come è testimoniato dalla pubblicazione di una serie di libri, dalle lezioni nei corsi di aggiornamento per docenti di scuola secondaria superiore e dai seminari proposti agli studenti di varie scuole, dalla partecipazione come autorevole esperto a incontri promossi da istituzioni e associazioni varie. A Bell Selleri riconosceva una statura scientifica di straordinario livello e a lui si sentiva legato da una profonda amicizia, coltivata nei molti incontri al CERN e testimoniata, ad esempio, dalla cartolina³ che egli ricevette dal fisico irlandese che lo ringraziava per avergli inviato una copia del libro *Quantum paradoxes and physical reality* (Selleri 1990).

² La Scuola internazionale di fisica "Enrico Fermi", organizzata dalla "Società italiana di fisica" (SIF) fin dal 1953, è un tradizionale appuntamento per la formazione dei fisici sui nuovi temi della ricerca. Quella del 1970 fu la prima ad essere dedicata al tema dei fondamenti della Meccanica Quantistica ed ebbe 84 partecipanti e si svolse dal 29 giugno all'11 luglio.

³ Cartolina illustrata di Bell a Selleri, 22 gennaio 1990.

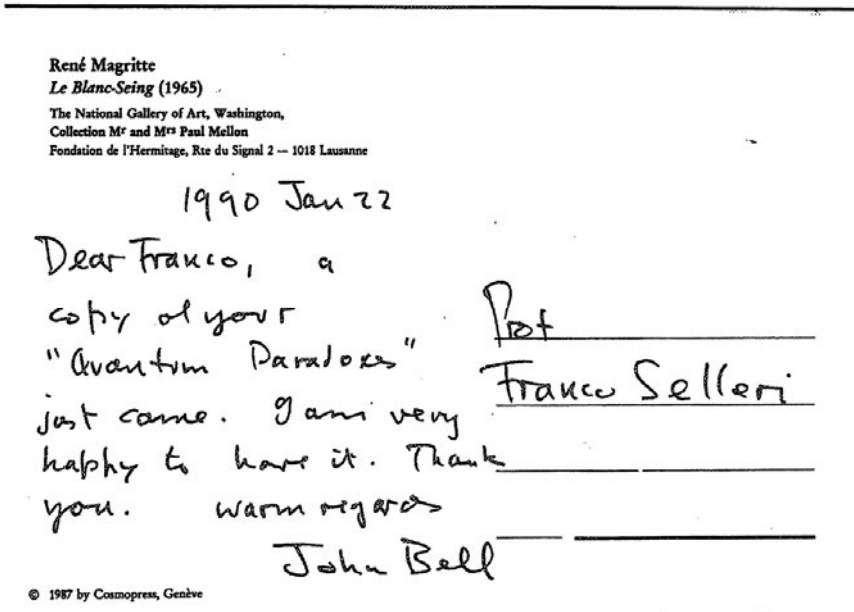


Fig. 2. Retro della cartolina illustrata inviata da John Bell a Franco Selleri.

Se Selleri ebbe, quindi, l'idea di una Scuola della SIF dedicata per la prima volta al tema dei fondamenti della Meccanica Quantistica, Bernard d'Espagnat (1921-2015), che fu nominato direttore della Scuola, ricorda come anche Bell ebbe un ruolo cruciale nella preparazione:

When the Italian physical Society asked me to organize and direct its 49th Summer School in Varenna (1970), on the foundations of Quantum Mechanics, Bell helped me quite a lot in choosing people to invite, and he himself gave there a most important paper. Later in 1976 he and I co-organized a workshop, entirely dedicated to the Bell's inequalities question, at the Ettore Majorana Center in Erice (Sicily). We invited there a number of theorists and experimentalists, among whom a newcomer named Alain Aspect who, in 1982, was to publish (as his PhD thesis and in Phys.Rev. Letters) the first really conclusive (in the opinion of John Bell himself) experiment showing that these inequalities are violated, in conformity with the predictions of Quantum Mechanics but contrary to what received views and commonsense seemed to predict⁴.

Bell, infatti, propose una riflessione sulla questione delle variabili nascoste (Bell 1971), richiamando sia le motivazioni che lo avevano condotto a tale studio sia i principali

⁴ Nel 2011 d'Espagnat ha rilasciato queste dichiarazioni ad uno degli autori del presente contributo (Laurora).

risultati ottenuti nei precedenti articoli del 1964 e del 1966. Nella sua conferenza, a seguito delle sollecitazioni che il lavoro di CHSH del 1969 aveva stimolato in lui, dimostrò poi l'espressione più generale della diseuguaglianza ottenuta dagli autori, riconoscendo come il risultato offrisse la possibilità di condurre nel campo sperimentale le questioni considerate fino a quel momento e osservando come – in riferimento alla disposizione ideale esaminata da lui nell'articolo del 1964 – il problema centrale fosse diventato capire se «the inevitable departures from this ideal situation can be kept sufficiently small in practice that the quantum-mechanical prediction still violates the inequalities» (Bell 1971, 180) ricavata da CHSH. A questo riguardo, ritenendo che un sistema costituito da due fotoni, come quello proposto nel lavoro di CHSH, possa essere più promettente di quello formato da due particelle di spin $\frac{1}{2}$, Bell concluse:

A very serious study of the photon case will be reported to this meeting by Shimony. The experiment described by him, and now under way, is not sufficiently close to the ideal to be conclusive for a quite determined advocate of hidden variables. However, for most a confirmation of the quantum-mechanical predictions, which is only to be expected given the general success of quantum mechanics, would be a severe discouragement (Bell 1971, 180).

Il seminario di Shimony, a cui accenna Bell nella sua conferenza, riguardava appunto la discussione dell'esperimento progettato con Clauser, Horne e Holt. Shimony in quella occasione conobbe Bell e con lui iniziò una lunga amicizia. A distanza di anni, egli ricorda:

I admired John Bell as much as any physicist of my acquaintance, and I was deeply gratified by his interest in our attempts to provide an experimental test for the discrepancy between classical special relativity and quantum mechanics. His early death was a great loss to foundations of physics⁵.

2.2. Lettera di Max Jammer, 8 novembre 1970

La Scuola di Varenna del 1970 fu quindi un'importante occasione per lo sviluppo della ricerca sulle variabili nascoste e sul teorema di Bell, poiché riunì un certo numero di fisici che già lavoravano sul tema ma che non si erano mai incontrati prima, conferendo al loro lavoro maggiore autorevolezza e ampliando così l'interesse di nuovi ricercatori. È anche da questo punto di vista che può interpretarsi la lettera, finora inedita e ritrovata tra le carte personali di Bell conservate dalla moglie Mary, che Max Jammer gli inviò quattro mesi dopo il Convegno di Varenna. Jammer stava lavorando al seguito del suo libro, *The conceptual development of Quantum Mechanics* – che era stato pubblicato nel 1966 – e in particolare, come egli sottolinea nella lettera, stava approfondendo la storia delle diverse interpretazioni della Meccanica Quantistica. Ed è proprio per chiarire il contributo di Bell in tale ambito che Jammer gli scrisse ponendogli alcune domande:

⁵ Nel 2011 Shimony ha rilasciato queste dichiarazioni ad uno degli autori del presente contributo (Laurora).

Dear Professor Bell:

Working on the sequel volume [...] and in particular on the history of the various interpretations of quantum mechanics, I take the liberty, for the sake of historical accuracy, to approach you with a number of questions concerning your important contributions to this field. [...]

(1) [...] Was it at Harwell, in particular through your contact with F. Mandl, that you became interested in foundational questions on quantum theory, or was there somebody else who influenced you in this direction?

(2) When, precisely, did you write your paper *On the problem of h.v. in q.m.*?

(3) Your paper [...] was published in the same volume of the Reviews as the Bohm-Bub paper “A proposed solution...” which also incorporated the wholeness conception in a hidden variable theory. Although these two authors make a reference to your paper it is not clear to me whether they had any previous contact with you or discussion of this matter. It is possible, in your opinion, that your paper may have influenced their approach?

(4) What was your connection with Jauch? When did he attract your attention to the Gleason paper?

Il documento inedito ha un significativo valore storico in quanto testimonia la rilevanza che in quegli anni il contributo scientifico di Bell cominciava ad acquisire nella riflessione sui concetti della Meccanica Quantistica e anche ai fini di una ricostruzione storica delle relative idee.

2.3. Lettera di risposta a Jammer, 17 novembre 1970

Nella lettera a Jammer, Bell risponde in modo sistematico alle domande poste⁶:

Dear Professor Jammer,

[...] I have to start a little further back:

-1) I became interested in these questions as an undergraduate, in the late forties, being from the beginning unsatisfied with the vague but essential role of the observer. The division of the world into system and observer, with no clear specification of either, troubled me more than the indeterminism.

0) In 1949 I read Born's very nice book *The natural philosophy of cause and chance*. I think it was there (p. 109) that I learned of von Neumann's proof. I was very impressed by Born's description of it. Von Neumann's work itself was available only in German, which I could not read.

1) I went to Harwell (late in 1949) and specialized in accelerator design. I was there in 1952 when Bohm's paper appeared, and had Franz Mandl as a colleague. He was familiar with von Neumann's book and carefully and patiently took me through the argument, hoping I think, to convince me that Bohm must be somehow wrong. I saw in the course of these discussions that the additivity axiom was weak. I did not think to write about it at that time. [...]

2) The R.M.P. paper was written in the summer of 64 at SLAC and appeared as a preprint in August [...].

⁶ Esiste la minuta dattiloscritta della lettera di risposta e una parte della bozza, che – come era sua consuetudine – cominciò a scrivere a mano sul retro della lettera ricevuta da Jammer.

- 3) [...] I had not at that time had any contact with Bohm and Bub and do not know at what stage of their own work they became aware of mine.
- 4) Jauch must have written his paper with Piron some time in 1963. He gave a seminar at CERN and this led to several discussions in which he and I exchanged views on hidden variables and von Neumann, and later on quantum mechanics in a more general way. It was at this time that he told me of the work of Gleason, which permitted the relaxation of von Neumann's additivity.

Lo scambio epistolare tra Bell e Jammer ha valore e significato, se si osserva che nel libro pubblicato nel 1966 Jammer dedica un'appendice al paradosso EPR e in una nota di tale appendice è già citato, tra i riferimenti alla letteratura di settore, il lavoro di Bell del 1964.

Nel seguito del libro, che sarà pubblicato nel 1974, con il titolo *The philosophy of Quantum Mechanics: the interpretations of Quantum Mechanics in historical perspective*, nel capitolo sulla questione delle variabili nascoste sono invece presentati i contributi di Bell, che nei ringraziamenti è citato per le informazioni fornite tramite una corrispondenza epistolare. I contributi del fisico irlandese sono preceduti – all'interno dello stesso capitolo – dalla citazione di una sua affermazione, tratta dal lavoro che Bell presentò proprio al Convegno di Varenna del 1970:

It is this possibility, of a homogeneous account of the world, which is for me the chief motivation of the study of the so-called 'hidden variable' possibility (Bell 1971).

Pertanto, a distanza di qualche anno, la considerazione di Jammer per l'articolo di Bell del 1964 crebbe di pari passo al ruolo che il fisico irlandese in quegli anni cominciava a ricoprire all'interno del dibattito sui fondamenti della Meccanica Quantistica. La motivazione della lettera di Jammer va ricercata non solo nella sua crescente attenzione verso i due famosi articoli di Bell, ma anche nell'interesse verso il lavoro di CHSH del 1969 e verso alcuni dei seminari del convegno di Varenna appena terminato. A conclusione del capitolo sulle teorie a variabili nascoste, Jammer richiama sia la pubblicazione nel 1969 del lavoro di CHSH sulla proposta di esperimenti per verificare le teorie locali a variabili nascoste, sia la pubblicazione nel 1972 dei risultati di Clauser e Freedman sui test sperimentali di tali teorie. Dal 7 al 10 ottobre 1991, a un anno dalla scomparsa di Bell, fu organizzata a Cesena la conferenza internazionale "Bell's theorem and the foundations of Modern Physics" dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Bari che, nella persona di Selleri e di un gruppo di ricercatori dello stesso Dipartimento, fin dall'inizio degli anni '70 aveva contribuito alla ricerca sul teorema di Bell. La conferenza illustrò il numero e la profondità degli sforzi delle ricerche che, in quel momento, si stavano focalizzando intorno alle questioni sollevate dal teorema. Durante tale conferenza Jammer rese omaggio alla memoria di Bell, ricordando i suoi contributi ai fondamenti della Meccanica Quantistica ed evidenziandone le relazioni concettuali dal punto di vista della storia delle idee.

2.4. Lettera di David Bohm e Basil Hiley, 18 dicembre 1979

Il lavoro presentato da Bell al Convegno di Varenna continuò ad interessare anche a distanza di qualche anno. David Bohm (1917-1992) e Basil Hiley (1935-) in una lettera inviata a Bell nel dicembre 1979 fanno riferimento alla diseguglianza nella forma in cui Bell la presentò proprio al convegno di Varenna nel 1970 (Bell 1971). Una riflessione sulla diseguglianza di Bell è l'argomento dello scambio epistolare con David Bohm e Basil Hiley:

Dear John,

We are afraid we are going to be a little troublesome. We have been looking closely at the 1971 proof of your inequality again and something is troubling us.

You argue that [...] you can in principle find a way of determining the result of a given spin measurement on a single particle. Indeed either the method you proposed in your 1964 [...].

Therefore we cannot see how it is possible to go through with the proof in this case. We would much appreciate any comments you have on this point. [...]

Please understand that we are not committed to locality as our papers show and it will be rather unfortunate if our criticism of the derivation turns out to be correct.

2.5. Lettera di risposta a Bohm e Hiley, 8 gennaio 1980

Nella lettera di risposta Bell chiarisce alcuni passaggi nella derivazione della diseguglianza che dimostrò al convegno di Varenna.

Dear Basil, David,

thank you for your letter of December 18 (which arrived only yesterday). I agree that it is essential to combine situations which are not simultaneously accessible experimentally. There is something deep here and I don't feel I have got to the bottom of it. Maybe a pit will open at my feet.

3. I primi test sperimentali (1972-1976) sulla diseguglianza di Bell e la corrispondenza con Evrard, Bonsack-Chabat e de Broglie

I risultati del primo esperimento sulla diseguglianza di Bell furono pubblicati da Clauser e Freedman nell'aprile del 1972. Essi partirono dalla generalizzazione della diseguglianza di Bell ottenuta nel 1969 dal lavoro di CHSH e i dati, che i due autori ottennero, mostrarono un accordo con la Meccanica Quantistica, fornendo così una evidenza sperimentale contro le teorie locali a variabili nascoste (Clauser, Freedman 1972). Pertanto anche la progettazione dei primi test sperimentali e i relativi esiti determinarono un certo interesse, come quello che viene mostrato dalla lettera di Daniel Evrard circa tre mesi prima della pubblicazione dei risultati da parte di Clauser e Freedman, ma suscitavano anche l'attenzione di Francois Bonsack-Chabat dell'Associazione Gonseth, e infine misero a confronto Bell con l'illustre fisico Louis de Broglie.

3.1. Lettera di Daniel Evrard, 12 gennaio 1972

Poco prima della pubblicazione dei risultati di Clauser e Freedman nell'aprile del 1972, avvenne uno scambio epistolare tra Bell e Daniel Evrard (1948-), che in quegli anni collaborava con Mioara Mugur-Schächter (1929-) all'Università di Reims in Francia, presso il "Laboratoire de Mécanique quantique et structures de l'information".

Nella lettera Evrard chiede i riferimenti dei risultati dell'esperimento di Clauser e Freedman - che sarà pubblicato, come già detto, tre mesi dopo - ma soprattutto coglie l'occasione per chiedere a Bell le sue opinioni in merito a un risultato che si attendeva quasi certo e alle implicazioni che questo poteva avere nel ripristino o meno della causalità in Meccanica Quantistica:

Cher Docteur Bell,

Mad.me Schächter m'ayant fait part de la réalisation de l'expérience suggérée par votre théorème, testant les correlations de spin après désintégration d'un microsystème [...].

Dans l'hypothèse où de telles expériences vérifieraient - comme il semble - intégralement les prévisions de la Mécanique Quantique, quelles sont, dans votre système logique, les possibilités qui demeurent encore d'une restauration de la causalité en physique?

3.2. Lettera di risposta a Evrard, 1 febbraio 1972

Nella sua lettera di risposta Bell indica le condizioni dell'apparato sperimentale che, a suo giudizio, eliminerebbero i "loophole" presenti nell'esperimento tipico di quegli anni e che risultano problematici per coloro che - come lo stesso Bell - sostengono un ripristino della causalità locale nella Meccanica Quantistica e non accettano una «ipotesi cospiratrice» circa l'osservazione della correlazione tra le polarizzazioni della coppia di fotoni. L'ipotesi cospiratrice, che Bell non gradisce, è quella che per spiegare l'esistenza di tali correlazioni ammette accordi precedenti al test stesso tra i due fotoni. Secondo Bell, l'esperimento renderebbe decisiva la scelta tra la correttezza delle previsioni quanto-meccaniche e l'esistenza delle teorie locali a variabili nascoste se realmente eseguito «with one pair of photons at a time, with very efficient counters, and with orientations of the polaroid filters which are chosen only while the photons are in flight!». Egli, quindi, coglie l'occasione per condividere la propria riflessione e anche il proprio stato d'animo circa la causalità locale:

Dear Dr. Evrard,

the results in question are not yet published, or even in course of publication. [...]

These experiments certainly leave some loophole for a believer in local causality.

The critical situation from a logical point of view is when the experiment is done with one pair of photons at a time, with very efficient counters, and with orientations of the polaroid filters which are chosen only while the photons are in flight! None of these conditions is actually met. So one is always free to believe in a set of conspiracies which make the results of the practical experiment differ from that of the ideal one. I myself do not much like this conspiratorial hypothesis and am at present rather despondent about local causality.

È uno scambio epistolare che, possiamo osservare, si rivelò fruttuoso in quanto Evrard in un articolo pubblicato con Mioara Mugur-Schächter e François Thieffine nel dicembre 1972 evidenziò come la discussione sulla completezza della Meccanica Quantistica stesse entrando in modo “surrettizio” in una nuova fase (Mugur-Schächter *et al.* 1972), citando a supporto di questa tesi proprio i due articoli di Bell sul paradosso EPR del 1964 e sulle variabili nascoste del 1966. Sembrerebbe, quindi, che la considerazione di questi autori circa una nuova fase del dibattito sui fondamenti della Meccanica Quantistica se, da una parte, trovasse motivazione nel fatto che si basava su fondamenta solide quali i contributi di Bell, dall'altra tenesse conto del modo “surrettizio” in cui tale questione era affrontata e discussa dai fisici.

3.3. Lettera di François Bonsack-Chabat, 6 febbraio 1973

Il modo – se possiamo dire – così furtivo in cui si svolse il confronto tra i protagonisti di quegli anni fu testimoniato anche dal ruolo che ebbero gli incontri sulla questione delle variabili nascoste organizzati tra il 1973 e il 1982 dall'associazione “Gonseth”⁷ e dalla conseguente diffusione dei fascicoli delle *Epistemological Letters* che, in qualità di opuscolo “quasi clandestino”, raccolse i contributi al dibattito e consentì quindi il confronto e l'affinamento delle relative idee, prima della loro pubblicazione su qualche rivista adeguata. L'iniziativa rientrava all'interno di una delle attività dell'associazione, i *Symposiums écrits*, una forma intermedia tra il colloquio orale e il testo stampato per scambiare idee non ancora ben sviluppate e che si concretizzava nella realizzazione di *Epistemological Letters*, a cura della stessa associazione. In quegli anni la scelta di dedicare gli incontri alla discussione sulla verifica sperimentale del teorema di Bell e alle sue implicazioni era un'altra espressione e conseguenza dell'ampliamento dell'interesse e del dibattito sulla tematica.

A testimonianza dell'intento, quindi, da parte dell'associazione di promuovere l'iniziativa e della preparazione di questo confronto vi è la lettera di François Bonsack-Chabat (1926-2006), che a partire dal 1973 e fino al 1984 fu l'organizzatore dei *Symposiums écrits* denominati *Hidden variable and Quantum uncertainty*. Nella corrispondenza epistolare con Bell, Bonsack-Chabat, a nome della stessa associazione, gli comunica la volontà di avviare l'iniziativa e gli chiede alcuni suggerimenti circa i fisici da invitare e la persona da individuare per presentare una sintesi della situazione della ricerca sulla tematica di quel momento e per avviare il dibattito:

Cher Monsieur,

Vous avez, paraît-il, suggéré une expérience permettant de décider si oui ou non une théorie à paramètres cachés est compatible avec l'expérience. [...]

Je suppose que la réalité est beaucoup plus subtile et que les résultats de ces expériences doivent être discutés soigneusement pour déterminer les limites de ce qu'elles

⁷ L'Associazione Ferdinand Gonseth è stata fondata nel 1971 a Bienne in Svizzera e s'ispira alla ricerca e alle opere di Ferdinand Gonseth (1890-1975), filosofo e matematico svizzero, che si interessò ai fondamenti della matematica, alla filosofia della scienza e alla teoria della conoscenza. Attualmente l'Associazione continua a sviluppare, attraverso il centro studi “Institut de la Méthode”, alcune attività molto varie e riguardanti tematiche come, ad esempio, la riflessione sull'insegnamento della matematica e le discussioni sui problemi della filosofia della fisica attraverso la promozione del dialogo tra scienza e filosofia.

affirment et de ce qu'elles excluent. L'Institut de la Méthode propose d'engager une telle discussion, à laquelle prendraient part un certain nombre de physiciens d'opinions diverses. [...]

Mais il faudrait avoir une liste assez complète de personnes intéressées. J'ai pensé à Destouches, Ullmo, Paulette Février, Chambadal, De Broglie, Vigier, Lochak, Shimony, Bohm, Jauch, Heisenberg, Born, Jordan, Dirac, Watanabé, Feynman. Pourriez-vous compléter cette liste?

La lettera è certamente un riconoscimento del ruolo di riferimento che Bell aveva all'interno della riflessione sulla questione delle teorie locali a variabili nascoste.

3.4. Lettera di risposta a Bonsack-Chabat, 17 aprile 1973

Nella lettera di risposta a Bonsack-Chabat⁸ emerge il grande interesse di Bell per l'iniziativa. Ai nomi indicati da Bonsack egli aggiunge quello di Jeffrey Bub e di Bernard d'Espagnat, mentre suggerisce Shimony o d'Espagnat per avviare il dibattito:

Dear Dr. Bonsack-Chabat,

I replay to your letter of February 6. You are quite right that reality is more subtle. I follow your discussion with great interest, and will intervene if I do not like the direction in which it goes. To your list I would add the names of d'Espagnat and Bub. Shimony would be excellent to start the discussion, or d'Espagnat.

La discussione fu poi iniziata da Shimony, come si evince dalla presentazione che questi fece sul primo numero di *Epistemological Letters*, richiamando alcune tappe della storia della fisica utili per chiarire l'argomento scelto per il confronto tra le diverse opinioni. Da un esame dei contributi apparsi sui fascicoli, tra i fisici indicati nello scambio epistolare tra Bell e Bonsack-Chabat parteciparono alle discussioni Vigier, Lochak, Shimony, d'Espagnat e Bell, Costa de Beauregard che aveva esortato Bonsack-Chabat a realizzare l'iniziativa. Ad essi si aggiunsero, durante lo svolgersi degli incontri, altri fisici: M. Horne, M. Mugur-Schachter, J. Clauser, F. Selleri, G. Tarozzi, A. Garuccio, W.M. de Muynck, J. Andrade, M. Silva e l'illustre filosofo Karl Popper. A partire dal novembre del 1973 fino all'aprile del 1983, *Epistemological Letters* riportò, quindi, le discussioni che venivano condotte con uno stile aperto e informale e la questione delle variabili nascoste fu al centro delle discussioni e dei fascicoli.

3.5. Lettera a Louis de Broglie, senza data

Il dibattito sul teorema di Bell vide in quegli anni anche un contributo di Louis de Broglie, che in un articolo pubblicato ad aprile del 1974, dal titolo *Sur la réfutation du théorème de Bell* ne aveva commentato alcuni aspetti (Broglie (de) 1974). Ne seguì uno scambio epistolare tra il premio Nobel francese e Bell il quale, per ringraziarlo della

⁸ Della lettera di risposta sono state ritrovate sia la bozza scritta a mano con alcune correzioni, sia la minuta dattiloscritta ed entrambe recano la data del 17 aprile 1974. Probabilmente è un errore di battitura, per cui possiamo ritenere che l'anno sia il 1973 in accordo con la data del primo fascicolo di *Epistemological Letters*.

considerazione che aveva avuto nei confronti del suo teorema, gli scrisse una lettera⁹ in cui fa esplicito riferimento all'articolo che il premio Nobel aveva pubblicato sull'argomento. Bell dichiara di aver compreso dalla lettura dell'articolo come la confutazione non riguardi il suo teorema ma la validità non limitata della Meccanica Quantistica, verso la cui interpretazione, però, precisa a de Broglie, ha un atteggiamento critico e molto aperto ad altre soluzioni. Circa la correlazione prevista dalla teoria quantistica tra misure dello spin su particelle distanti, Bell afferma come essa sia una realtà dimostrata da esperimenti, che hanno stabilito l'esistenza di tali correlazioni nel caso dei fotoni, anche se aggiunge che non tutti gli esperimenti si sono mostrati in accordo con la Meccanica Quantistica. Bell si riferisce in questo caso all'esperimento di Holt e Pipkin, test sperimentale che fu ripetuto solo due anni più tardi da Clauser, il quale non osservò la deviazione delle misure dalle previsioni della Meccanica Quantistica. Alla lettera inviata a de Broglie, Bell allega una copia dell'articolo di Clauser e Freedman pubblicato nel 1972 (Clauser, Freedman 1972).

Dear Professor de Broglie,
 as a long-time admirer of your work I was very happy to see, in *Comptes Rendus* recently, that my own work has come to your attention. I seems to me that you refute, not my theorem, but my axiom – the unlimited validity of ordinary quantum mechanics. I myself am in fact rather open minded about the extent to which quantum mechanics is valid. But I do not think it is possible to take [...] that spin measurement on distant particles are uncorrelated. A number of experiments, not all agreeing in detail with quantum mechanics, have established the existence of such correlations for photons. I take the liberty of enclosing have a copy of one of the paper concerned, that of Clauser and Freedman, *Physical Review Letters* 28, 938.

3.6. Lettera di risposta di Louis de Broglie, 4 giugno 1974

Nella lettera di risposta a Bell, l'illustre fisico francese dichiara che riguardo l'esistenza di correlazioni tra le misure di spin eseguite su elettroni distanti, egli è convinto che tali correlazioni non esistano. E che nonostante un certo numero di esperimenti sembrano dimostrare l'esistenza di correlazioni – anche se queste esperienze sono state contestate – egli è convinto che alla fine si dimostrerà, con più accurati esperimenti, l'assenza di correlazioni tra le misure di spin:

Cher Monsieur,
 je vous remercie de votre aimable letter. J'ai été heureux d'apprendre que vous n'étiez pas sûr que l'interprétation actuellement enseignée de la Mécanique quantique soit exacte. En ce qui concerne l'existence de correlations entre des mesures de spin effectués sur des electron éloignés, je suis convaincue que ces correlations n'existent pas. [...]
 Je sais qu'un certain nombre d'expériences ont été faites qui paraissent prouver l'existence de correlations. Mais je sais aussi que ces expériences ont été contestées

⁹ Della lettera inviata a de Broglie è stata ritrovata la bozza scritta a mano. Sebbene la minuta non rechi alcuna data, si può datare tra aprile e maggio del 1974, in base alla pubblicazione dell'articolo di de Broglie e alla lettera di risposta di questi a Bell in data 4 giugno 1974.

et je suis convaincu que l'on finira par prouver, par des experiences plus precises, l'absence de correlations entre le mesures de spin.

4. Conclusioni

Se grazie anche ai risultati scientifici di Bell è stato possibile agli inizi degli anni '70 rinnovare l'interesse verso la ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica e permettere di affrontare quei temi che hanno condotto sia a nuovi sviluppi di rilevanza concettuale, sia a risultati pratici derivanti dalle applicazioni della teoria, la sua corrispondenza scientifica con vari interlocutori di quegli anni ha permesso a tali ricercatori di avventurarsi in questo nuovo campo d'indagine, indipendentemente dalle personali convinzioni che via via diventavano più definite. La riflessione sulle questioni che fin da giovane Bell reputava centrali ha continuato ad appassionarlo anche in età più matura e ciò è evidente non solo nei contributi scientifici ma ancor più negli scambi epistolari che abbiamo evidenziato, scambi che lo hanno portato a chiarire le sue idee grazie proprio al confronto, focalizzando così quei temi che avrebbero costituito l'essenziale scientifico da condividere. La corrispondenza scientifica testimonia il suo desiderio e la sua preoccupazione non tanto di difendere quanto di comunicare in modo chiaro le proprie idee e, quindi, queste lettere, seppure in modo frammentario, integrano la ricostruzione storica del pensiero di Bell come lo conosciamo attraverso i suoi lavori scientifici.

Bibliografia

- Bell J.S. (1971). *Introduction to the hidden-variable question*, in d'Espagnat B. (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", 49th Course (Villa Monastero, Varenna, 29 June-11 July 1970)*. New York & London: Academic Press, pp. 171-181.
- Bell J.S. (1966). "On the problem of hidden variable in quantum mechanics". *Reviews of Modern Physics*, 38 (3), pp. 447-452.
- Bell J.S. (1964). "On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox". *Physics*, 1 (3), pp. 195-200.
- Bohm D. (1952). "A suggested interpretation of the Quantum Theory in terms of 'hidden' variables, I and II". *Physical Review*, 85, pp. 166-193.
- Brogliè (de) L. (1974). «Sur la réfutation du théorème de Bell». *Comptes rendus, Série B*, 278, pp. 721-722.
- Clauser J.F., Freedman S.J. (1972). "Experimental test of local hidden variables theories". *Physical Review Letters*, 28 (14), pp. 938-941.
- Clauser J.F., Horne M.A., Shimony A., Holt R.A. (1969). "Proposed experiment to test local hidden-variables theories". *Physical Review Letters*, 23 (15), pp. 880-884.
- d'Espagnat B. (ed.) (1971). *Foundations of Quantum Mechanics. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", 49th Course (Villa Monastero, Varenna, 29 June – 11 July 1970)*. New York & London: Academic Press.

- Einstein A., Podolsky B., Rosen N. (1935). “Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?”. *Physical Review*, 47 (10), pp. 777-780.
- Interview of Franco Selleri by Olival Freire on 2003 June 24 [online]. URL: <www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/28003-1> [access date 14/02/2019].
- Mugur-Schächter M., Evrard D., Thieffine F. (1972). “Study of the presence probability distribution in autointerference states”. *Physical Review D*, 6 (12), pp. 3397-3418.
- Neumann (von), J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer.
- Selleri F. (1990). *Quantum paradoxes and physical reality*. Dordrecht: Kluwer.