

STEFANO FURLAN*

NON DALLA TESTA DI ZEUS
HEISENBERG, WHEELER E IL RAPPORTO CON IL PASSATO DELLA SCIENZA

Abstract: *Not From the Head of Zeus. Heisenberg, Wheeler and the Relationship with Science's Past*

Werner Heisenberg and John Wheeler, besides being crucial figures of 20th-century physics, developed grand views and offered a series of broader reflections whose philosophical interest seems beyond doubt. And yet, the genesis of such ideas and their intertwining with other philosophical viewpoints get systematically distorted, impaired, decontextualized and/or neglected. This contribution aims to offer a few methodological considerations to address more fruitfully, faithfully and interestingly their thought (or that of similar cases), as well as to underline their peculiar (at least for recent physicists) relationship with the past – not irrelevant for who intends to meditate on “Nature and Technology”.

Keywords: 20th-Century Physics, Historical Epistemology, Future of Science, Scientific Narratives, Physics-Philosophy Interactions

Ho ricostruito molto: e ricostruire significa collaborare con il tempo nel suo aspetto di “passato”, coglierne lo spirito o modificarlo, protenderlo, quasi, verso un più lungo avvenire; significa scoprire sotto le pietre il segreto delle sorgenti.

(M. Yourcenar, *Memorie di Adriano*)

1. Introduzione: pensieri insospettati

Werner Heisenberg (1901-1976) e John A. Wheeler (1911-2008) sono, a diverso titolo, due figure di primissimo piano nella fisica del secolo scorso. Il primo, come ben noto, oltre ad essere uno dei principali artefici della meccanica quantistica, non lesinò ad un pubblico più vasto panoramiche di ampio respiro sulla storia del pensiero scientifico e sui suoi recenti mutamenti concettuali, mentre il nome del secondo viene spesso associato, come si avrà modo di discutere, ad audaci visioni “futuristiche” che hanno, però, salde radici nella fisica già consolidata. La ricchezza della loro esperienza scientifica e delle loro riflessioni dovrebbe dunque renderli interlocutori quasi ovvi per chi desiderasse meditare su binomi come “Natura e Tecnica”, per quanto non si possa certo dire che gli spunti di riflessione offerti dal loro operato siano stati sviscerati.

È bene precisare fin da subito che questo intervento non ha la minima intenzione di assumere quella posa condiscendente che si accompagna solitamente alla pretesa di apportare un bel “la scienza dice che” a chi ascolta o, in questo caso, al “dibattito su Natura e Tecnica”. Ancor prima dei contenuti, ciò che preme trasmettere è un aspetto metodologico su come poter intrecciare un dialogo effettivo tra pensiero filosofico e pensiero scientifico, o se non altro su come vada presa nota di loro incontri non banali che sono già avvenuti, ma che vengono regolarmente appiattiti, menomati o distorti. Limitarsi a dire che Heisenberg – esempio certamente adeguato – nutrivà degli “interessi filosofici”, magari contornando una simile affermazione con tentativi di commento che mescolano alla rinfusa la solita manciata di parole d'ordine associate al suo nome (“indeterminazione”, “osservatore”, “quantistico”, etc.), tende ad essere soltanto vuota chiacchiera. Occorre piuttosto aver presente davanti agli occhi, con una certa risoluzione di dettagli tecnici, il suo itinerario intellettuale, nel suo spessore e nella sua complessità, e saper indicare, con coerenza, i punti precisi dove una concezione filosofica abbia plasmato un passaggio della

* Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte - Berlin; Département de Philosophie - Université de Genève.

fisica che cercava di sviluppare in quegli anni, o viceversa come da quest'ultima si siano diramate suggestioni di più vasta portata. Così non si tratta semplicemente di un altro approccio storico-critico, volto soltanto a guardare all'indietro: è anche un modo di preparare il terreno per innestare nuovi confronti in modo circostanziato e accurato, anziché invocare pasticciando nozioni alla moda, considerate astoricamente. Che nel divario tra i libri di popolarizzazione e gli esoterici contributi iperspecialistici vi siano – accessibili e studiabili con competenze non esclusivamente “tecniche” – interi mondi speculativi da esplorare; carte di lavoro o annotazioni preparatorie che testimoniano influssi variegati, ancora in attesa di studio; la possibilità di seguire *in fieri* la genesi di idee e risultati prima della loro (eventuale) cristallizzazione nei contenuti di un manuale scientifico; la ricostruzione di traiettorie euristiche con stili peculiarmente individuali: tutto questo pare non sia nemmeno sospettato, malgrado ricerche d'archivio per qualche verso affini vengano regolarmente praticate per altre classi di pensatori (non necessariamente più decisivi o più profondi). L'urgenza di confrontarsi con tutti questi aspetti di solito ignorati dovrebbe oggi risultare autoevidente, posto che la filosofia desideri rapportarsi seriamente alla fisica, anziché rifarsi a notizie di terza o quarta mano da parte di emuli di formalismi dall'aria matematica o di sensazionalisti per il popolo. Per tale via si potrà invece, forse, auspicare lo sviluppo di un pensiero filosofico all'altezza della scienza con cui si confronta, e non meramente epigonale – né somigliante, secondo l'efficace espressione che ritroveremo in Wheeler, ad una lattina vuota e chiassosa legata con un filo all'autocarro della scienza.

Detto questo, nella prossima sezione si delinea meglio quanto appena accennato, situandolo in relazione all'epistemologia storica nelle sue svariate forme. Non si vuole certamente sostenere che questa sia l'unica modalità valida di riflessione, ma non si vede come si possa continuare ad ignorarla spensieratamente e a pretendere di costruire su miraggi o terreni fangosi. Quindi, dopo questo preambolo piuttosto esteso, tutt'altro che secondario per via delle ragioni suddette, si passerà ad esaminare Heisenberg nella terza sezione, Wheeler nella quarta. Nel fare ciò, non ci si limiterà ad offrire un piccolo assaggio dello spessore che può raggiungere l'intreccio delle loro riflessioni scientifiche, storiche e filosofiche, ma si enfatizzerà un aspetto che non è certo consuetudine indagare in relazione a figure di questo tipo, ossia quale fosse il loro modo di rapportarsi con il passato. Al di là dell'enfasi metodologica, esplicitare (ed eventualmente metter in discussione) questo tipo di rapporto con il tempo storico, senza dare per scontata all'interno delle convinzioni degli scienziati praticanti la linearità delle “magnifiche sorti e progressive”, non pare privo di rilevanza per gli interrogativi su “Natura e Tecnica”.

2. Qualche nota di metodo

L'epistemologia storica nella sua accezione berlinese (incarnata principalmente, nel nuovo millennio, nelle attività del Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte) risulta, almeno per certi aspetti, elusiva. Si ha talora la tentazione di dire che, a Berlino, cosa sia l'epistemologia storica tutti lo san, ma nessun lo dice. In termini più dettagliati, si potrebbe forse dire che ogni direttore di ricerca la declina a modo proprio, il che tra l'altro comporta, ovviamente, un crogiolo di influenze e affinità con altre correnti e approcci. Non mancano tuttavia validi tentativi di offrire una panoramica complessiva¹, dove tra l'altro si sottolinea giustamente la “poligenesi”² di questo tipo di approccio. Ora, non è affatto lo scopo di questo contributo ripercorrere o discutere le numerose declinazioni e origini dell'epistemologia storica: si tratta semplicemente di offrire alcune coordinate culturali. Non è fuori luogo indicare come nucleo dinamico di una concezione storico-epistemologica delle scienze il tentativo di tenere assieme la molteplicità di dimensioni – teoretiche, culturali, sociopolitiche, etc. – che costituiscono l'intreccio dell'umano operare, di contro a pretese e interpretazioni monocausali; ad un livello più basilare e, appunto, epistemologico, ciò comporta un rapporto “spurio” o “impuro” (aggettivi non certo intesi in

¹ Cfr. Rheinberger (2007); Omodeo, Ienna, Badino (2021).

² Omodeo, Ienna, Badino (2021), p. 6.

senso deteriore) tra soggetto e oggetto della conoscenza, con una consapevolezza opportunamente pesata caso per caso dei vari tipi di mediazione che subentrano, legati a circostanze storiche in senso lato.

Se vi è un tratto comune che attraversa l'ampia varietà di posizioni presentate, diremmo che è un approccio "impuro" al problema della conoscenza. Nessuna forma di sapere, neppure nelle sue forme paradigmatiche proprie delle scienze naturali moderne, si fonda su di un rapporto puro tra soggetto e oggetto, anche se spesso la filosofia della scienza ha sposato una simile riduzione – quella che Fleck, uno dei maestri di un'epistemologia storico-culturale avrebbe rigettato quale *epistemologia imaginabilis* con riferimento alle posizioni teoriche del neopositivismo viennese di inizio Novecento. Tra soggetto conoscente e oggetto conosciuto si inserisce sempre un terzo elemento di mediazione. Si tratta di un elemento fondamentale e imprescindibile, il quale giustifica un'ampia varietà di approcci storico-filosofici, sociologici e prasseologici. Sulla scia di alcune riprese recenti del neokantianismo potremmo designarlo un a priori dinamico oppure, sulla scia di alcuni importanti sviluppi francesi, un apriori storico. Questo può essere connotato in termini più o meno idealistici, come nel kantismo di Marburgo o nel primo Foucault, oppure più decisamente sociali e materiali, come nelle filosofie di stampo marxista³.

Già il semplice fatto di prendere in considerazione l'epistemologia storica, dunque, proietta all'interno di questioni legate al rapporto tra "Natura e Tecnica". Nel caso della storia della fisica dell'ultimo secolo, soprattutto se ci si occupa dei suoi aspetti concettuali, è forse lecito dire che le varie opzioni appena menzionate restano sì presenti come attiva ispirazione di fondo, ma non è poi così frequente che vengano affrontate esplicitamente e specificamente. Ciò però non deve comportare la rinuncia al "tenere assieme" la varietà di aspetti e fattori suaccennata, cadendo o in certe blande parafrasi (che ben poco hanno di storico, a parte qualche data a mo' di orpello) di articoli tecnici oppure, all'estremo opposto, in un piatto esternalismo che si premura di non toccare minimamente la dimensione teoretica. Modelli di riferimento restano il lavoro di Jürgen Renn sui taccuini zurighesi di Einstein⁴, grazie ai quali si è ricostruito il percorso che ha portato quest'ultimo a formulare la relatività generale (ma importanti prospettive sono state offerte anche sui precedenti risultati einsteiniani), oppure i contributi dello stesso Renn e del suo dipartimento allo studio della genesi della meccanica quantistica, come si menzionerà nella sezione dedicata a Heisenberg. Nondimeno, proprio per l'attenzione richiesta dalla disamina (e dalla "decifrazione") delle carte preparatorie e delle bozze lasciate dagli scienziati, ma anche da questioni specifiche e da congiunture storiche ben precise, non si può certo pretendere una ricetta metodologica da esportare algoritmicamente a spese della dettagliata intelligenza del singolo caso in esame.

Nel caso della fisica ancora più recente (circa dal dopoguerra in poi), il terreno ancor più accidentato e impervio rende questo tipo di indagini ancor più complesse. È per questo che, in tempi recenti (più precisamente nel 2018), si è provveduto a fondare il primo gruppo intrinsecamente interistituzionale della Max-Planck-Gesellschaft⁵, vale a dire affiliato sia al già citato istituto per la storia della scienza a Berlino sia all'Albert-Einstein-Institut di Potsdam. È chiaro che, dato il tipo di competenze tecniche richieste per interpretare le carte di lavoro di scienziati che hanno lavorato su questioni di frontiera in anni recenti, oltre che per inquadrare opportunamente le questioni con una certa fecondità e interesse, occorrono studiosi muniti di una specializzazione avanzata e un qualche contatto con le pratiche scientifiche. Al contempo, per non cadere in quel tipo, già menzionato, di mera "parafrasi" di odierni contenuti scientifici e per offrire invece una prospettiva effettivamente

³ Ivi, p. 91.

⁴ Si veda Renn (2007) e, anche per il lettore italiano, Renn (2012).

⁵ Come ben noto, il suo logo, con ovvio simbolismo, è Atena, ma ci piace ricordare qui (come già nel titolo) che Max Planck stesso ribadiva come la nascita della dea, già armata di tutto punto, dalla testa di Zeus fosse ben diversa da quella storica dei concetti scientifici. Ciò è riportato e discusso anche in Heisenberg (1982), p. 33.

storica della trasformazione di questioni e strategie-guida, così come delle loro sottili interazioni con un complesso di fattori non interni al solo linguaggio matematico, le competenze tecniche vanno coniugate con un approccio storico-epistemologico. In questo senso, la creazione di una sorta di unità speciale all'intersezione di due istituti di spiccata eccellenza nei rispettivi ambiti pare una mossa tanto sensata quanto inevitabile, sebbene per ora non molto imitata.

Tuttavia, sarebbe in parte fuorviante leggere l'operato di questo gruppo⁶ caricandone l'approccio in modo eccessivamente teorico alla luce dei precursori sul versante storico-epistemologico, o dei vari orientamenti indicati nella citazione sopra riportata. Quello che è stato messo a punto per trattare la storia più recente della fisica e le sue questioni-guida è più che altro un *modus operandi* che consiste nel fare piazza pulita o, se non altro, metter tra parentesi, per quanto possibile, le narrative più o meno pubblicitarie e il nozionismo oggi propinato da libri di presunta divulgazione, che tendenzialmente retroproiettano il sapere odierno su ciò che si faceva in tempi addietro. Si tratta poi di avviare una ricostruzione passo dopo passo andando ad esaminare tanto i lavori pubblicati quanto le carte d'archivio (appunti preparatori, quaderni di lavoro, corrispondenza e quant'altro) di alcune figure opportunamente scelte, tenendo un occhio allo sviluppo diacronico del loro pensiero e della loro ricerca e un altro alla rete di contatti, all'insieme di approcci contemporanei o in concorrenza, all'intreccio di pratiche e al *milieu* in cui erano di volta in volta immerse. Segue evidentemente un forte accento sull'euristica e sulle metamorfosi o trasformazioni storiche, oltre che il conseguimento di un distacco critico che si interroga su condizioni e precondizioni, né soltanto in astratto o senza storia né, all'opposto, per correggere qualche dettaglio in modo storicistico.

Avviandosi alla conclusione di questo preambolo, c'è un altro aspetto che vale la pena di sottolineare a partire dagli sviluppi degli studi di Renn: l'enfasi su una dimensione per così dire autoriflessiva (e trasformativa) della scienza⁷. Se questo, negli ultimi anni, si è tradotto in un impegno di Renn e vari collaboratori ad insistere non senza urgenza etica sulla questione dell'Antropocene, ciò che qui si vuole suggerire è come, anche restando all'interno di alcune circostanze riguardanti la fisica, quel tipo di dimensione autoriflessiva sia un punto importante da rivendicare, non soltanto di contro alle rozze immagini che la vedono come un macchinario che avanza grazie all'applicazione del fantomatico "metodo". Non è perciò secondario identificare e richiamare l'attenzione su degli episodi interni alla scienza, per così dire degli spazi di inoperosità, in cui il gran macchinario collettivo viene momentaneamente disinnescato e si rivalutano precedenti vie non percorse, possibilità rimaste inespresse, e via dicendo – non però come iniziative *a latere*, ma come occasioni di riflessione che poi si ripercuotono nel modo di intendere la fisica o di indirizzare un certo programma di ricerca. Sia nel caso di Heisenberg che in quello di Wheeler si avrà modo di far presente una tale componente, ma non si tratta certo di casi unici; ed è anche interessante notare qui l'aprirsi, per via di fattori per così dire endogeni al mondo scientifico, di orizzonti temporali ben più ampi di quei "tempi brevi" che sembrano venire attribuiti in esclusiva ad una certa immagine della scienza e della società della tecnica "usa e getta". Non è forse in questi spazi che la filosofia dovrebbe e potrebbe intervenire?

Delineata questa panoramica metodologica, due parole sulla scelta di focalizzarsi su un periodo preciso, la fine degli anni '40 e l'inizio degli anni '50, che non sono sicuramente gli anni che segnano i maggiori successi nella carriera di Heisenberg o di Wheeler. Nelle usuali narrative trionfalistiche, o se non altro "risultatistiche", l'attenzione è rivolta alle numerose scoperte sperimentali che misero i fisici di fronte a quello che viene chiamato *particle zoo*, costituito dalle svariate particelle precedentemente ignote, in parte presunte "elementari", e di cui non si sapeva come render conto. Questa messe di risultati, a posteriori raccontati come un progresso dopo l'altro, segnarono un periodo di "crisi", non tanto in un qualche senso che preluda a rivoluzioni kuhniiane o simili, ma semplicemente nel suo significato etimologico: si trattava cioè di un momento in cui, di fronte al proliferare di nuovi dati,

⁶ Come esemplificato da vari lavori citati nelle prossime due sezioni.

⁷ Renn (2012), pp. 350-355.

varie figure di spicco presero per così dire una pausa per esercitare la propria facoltà di giudizio, riflettere e valutare sulla base della propria precedente esperienza quale fosse il bilancio ottimale tra accomodare i nuovi risultati con modelli *ad hoc* oppure ripensare più a fondo i vecchi principi, proporre nuove idee-guida.

3. Heisenberg e la sua Weltformel, tra pensiero greco e aspirazioni goethiane

Werner Heisenberg vanta una piuttosto cospicua rassegna bibliografica anche in Italia; ma c'è qualcosa che, sistematicamente, manca. È possibile, innanzitutto, applicare un'analisi storico-epistemologica, come sopra delineata nei suoi tratti essenziali, per offrire un serio e degno quadro del pensiero e delle attività di Heisenberg? O anche queste ultime devono sottostare a quella "indeterminazione" che, con una battuta logora e ripetuta *ad nauseam* (spesso neppure più avvertita come una *boutade*), si invoca per tutto ciò che lo riguarda? Non solo è possibile: in parte è già stato fatto, in parte si è tracciato un preciso programma per indagini ulteriori. Come prevedibile, l'attenzione si è dapprima focalizzata su quelli che rappresentano i suoi principali – ma non certo unici – contributi alla meccanica quantistica. Rimandando ad altri lavori⁸ chi fosse interessato ad una storiografia fondata sulle carte e sugli articoli di Heisenberg stesso, s'intende qui parlare invece di una grandiosa e non del tutto felice parabola che occupò vari anni della vita scientifica di Heisenberg, e che è profondamente intrecciata con le riflessioni che lo hanno reso noto ad un pubblico più vasto – ma che, incredibilmente, fino a pochissimi anni fa era in gran parte ignorata (non solo in Italia) e trascurata persino dagli storici⁹. Si tratta della cosiddetta *Weltformel*, nome indubbiamente altisonante e ambizioso, che si illustrerà tra poche righe. Per certi versi è comprensibile come questo programma, che su un piano ingenuamente "risultatistico" non può certo esser caratterizzato come un successo, sia finito, dopo il clamore mediatico degli anni '50, nel dimenticatoio, perdipiù offuscato dal ricordo dei grandi successi del giovane Heisenberg. Molto meno comprensibile risulta il fatto che fiumi di parole siano stati spesi sulle riflessioni heisenberghiane intorno al pensiero greco, a Goethe e alla storia della scienza, senza interrogarsi su cosa stesse tentando di fare in parallelo nel suo lavoro in fisica; basti notare che quella solita manciata di parole d'ordine (*in primis* l'"indeterminazione", ovviamente) che vengono sparpagliate intorno al suo nome fanno riferimento solo e soltanto alla fisica che sviluppò prima dei ventisette anni: pare quasi che per il restante mezzo secolo o poco meno che gli restava da vivere si fosse ritirato dalla scienza e avesse iniziato una tournée di conferenze in club culturali vari.

Esempio eloquente che ci permette di addentrarci nel discorso: come considerare l'invito di Heisenberg a dimenticarsi degli "atomi" di Democrito e a riconsiderare piuttosto le "forme" di Platone, figurativamente bruciando i libri del primo come si racconta che venne fatto dal secondo? Non certo limitandosi a ripeterlo con altre parole e offrendo considerazioni pseudostoriche alla luce di "ciò che la scienza odierna dice" (intendendo con questo l'ormai consolidata meccanica quantistica), ma cercando di mostrarne l'intreccio ben preciso con quanto Heisenberg stava facendo a livello "tecnico". Si trattava infatti di un passaggio cruciale nella nuova fisica che stava cercando di sviluppare (quella cioè della sua *Weltformel*), all'interno della quale il modo di pensare "atomistico", alla ricerca dei pezzetti materiali ultimi, viene dichiarato obsoleto e abbandonato, postulando invece un'unica sostanza – come una *arché* o *Urmaterie* – che dovrebbe avere come *forme* di equilibrio le varie particelle note. Questo, tecnicamente e puntualmente, si traduce nel costruire una teoria di campo quantistica nella cui lagrangiana (ecco la "formula del mondo", se la si considera come teoria fondamentale) compare un solo campo fermionico (ossia a spin semi-intero: se lo scopo è ricavare ogni tipo di particella, combinando spin $\frac{1}{2}$

⁸ Si veda in particolare, per le cruciali fasi iniziali della meccanica quantistica, Blum, Jähnert, Lehner, Renn (2017) e, più di recente, Blum, Jähnert (2022).

⁹ La prima comprensiva rassegna storico-technica si trova in Blum (2019). Per l'intreccio tra aspetti della teoria fisica e riflessioni filosofiche di Heisenberg come delineati nel resto di questa sezione, e per ulteriori dettagli bibliografici, si rinvia, salvo diversamente indicato, a Furlan, Gaudenzi (2022).

si possono ottenere anche quantità intere, corrispondenti ai bosoni, ma non viceversa). Ed è in questo ripensare le forme platoniche e l'importanza delle simmetrie, concetto chiave della fisica particellare che stava emergendo, che Heisenberg ritornò alla lettura del *Timeo*, che tanto lo aveva segnato e ispirato da adolescente. Si può percepire facilmente come questo approccio sia leggibile come una reazione al *particle zoo* e al suo poco "elegante" proliferare di particelle presunte fondamentali. Si può anche tenere conto che, nella Germania del dopoguerra, la ricerca nucleare era stata bandita e la tecnologia sperimentale di ultima generazione per indagare tali ambiti non era in ogni caso disponibile. Ma non si deve sottovalutare il ruolo dell'epistemologia ispiratrice di tale programma, alimentata sì dai risultati conseguiti dallo stesso Heisenberg una trentina di anni prima, ma anche dalla riflessione sul pensiero greco e sui fondamenti remoti della scienza, che lo accompagnò per tutta la vita. Con questa chiave di lettura si possono notare tra l'altro molti significativi parallelismi tra quanto Heisenberg cercava di attuare con la *Weltformel* e vari passi delle celebri lezioni su *Fisica e Filosofia*, che vengono però solitamente tradotte e citate come se la nuova fisica che Heisenberg stava sviluppando in concomitanza non fosse mai esistita.

Un altro aspetto importante da sottolineare, a fronte di equivoci o banalizzazioni, è l'intreccio di queste riflessioni con un'altra costante della vita mentale di Heisenberg, ossia il confronto con Goethe. Il fatto che il più noto biografo internazionale di Heisenberg, D.C. Cassidy, possa tranquillamente parlare di Goethe come di un "poeta romantico" che ha avuto un'influenza antiscientifica su Heisenberg¹⁰, e nulla più (a parte presentare i rimandi al pensiero greco come una stramberia d'epoca, una sorta di tic preso per contagio da von Weizsäcker¹¹), la dice piuttosto lunga sul tipo di storiografia scientifica dominante e su quanto lavoro ci sia da fare in queste direzioni. Il punto che si vuole qui sottolineare è invece come le riflessioni di Heisenberg sul pensiero greco e su Goethe, lungi dall'essere vezzi di alta cultura, abbiano accompagnato lo sviluppo del suo pensiero nell'arco di decenni, e dagli anni '30 in poi si siano intrecciati a costituire uno sfondo filosofico-epistemologico (accompagnato da una narrativa storica ben precisa) che si è poi andato rispecchiando nella fisica che tra fine anni '40 e anni '50 Heisenberg tentò di tracciare. Per dare un assaggio di come i testi e le idee appaiano ben più ricchi e interessanti da questa prospettiva, vale la pena menzionare la rilettura heisenberghiana, alla luce di quelle che considerava le lezioni di più ampio respiro della meccanica quantistica, della polemica di Goethe contro l'ottica newtoniana. La piuttosto celebre conferenza del '41, *La teoria dei colori di Newton e di Goethe alla luce della fisica moderna*, non è l'unico testo in merito¹². Non è per esempio un fatto di secondaria importanza che la suddetta conferenza del '41 corrisponda, anche cronologicamente, al più corposo e complesso *Manoscritto del '42*¹³, a sua volta intriso di un'ispirazione goethiana, e che in entrambi i testi Heisenberg mostri una notevole consapevolezza della inesauribilità dell'*holon* da parte delle singole discipline scientifiche (anzi, nel caso del secondo testo, non sarebbe fuori luogo cercare di estrarne una "olologia") e parli di "voci ammonitrici" in cui non è difficile – malgrado l'assenza di nomi espliciti – riconoscere più o meno mediatamente l'eco di critiche alla scienza come quelle di Spengler o del tardo Husserl. Così come non è irrilevante che nel testo della conferenza, tenuta a Budapest nel mezzo della guerra¹⁴, si possa avvertire nitidamente un senso di urgenza diretto a portare a compimento, una volta per tutte, alcune tendenze

¹⁰ Cassidy (2009), pp. 70, 74.

¹¹ «Under the influence of his longtime friend and colleague Carl Friedrich von Weizsäcker, his preferred intellectual tradition derived from ancient Greek philosophy. One former student recalled that Weizsäcker and Heisenberg began every lecture course, no matter what the subject, with a reference to Greek philosophy» (Cassidy, 2009, p. 407).

¹² Contenuto in traduzione italiana in Heisenberg (1978), pp. 81-101.

¹³ Opera che ha di recente ricevuto anche una visibile traduzione internazionale: Heisenberg (2019).

¹⁴ Per questi aspetti più legati alla sfera pubblica si rimanda al ben documentato studio di Carson (2010), sebbene si abbia talvolta l'impressione che vi sia un'alienazione non diversa da quella di Cassidy intorno a cosa la figura e le opere di Goethe potessero e possano significare per Heisenberg e non solo per lui. Desta a dir poco perplessità che si possano (o, per ragioni linguistiche, quasi si debbano) prendere come imprescindibili referenze simili lavori anziché, poniamo, tentare di stabilire connessioni con gli studi di Francesco Moiso sulla *Naturphilosophie* e i suoi sviluppi.

della visione del mondo della fisica classica, in modo da poterle così superare e aprire un nuovo spazio dove elaborare una nuova *Weltanschauung* più in linea con il rapporto goethiano con la natura. Senza voler per questo banalizzare le ambiguità del comportamento di Heisenberg in quegli anni, non è difficile vedere in filigrana l'urgente compito che molto probabilmente assegnava a se stesso finita la guerra (che, nel '41, poteva in effetti sembrargli sul punto di concludersi). Analogamente, il ricorrere di peculiari espressioni o metafore che Heisenberg aveva adoperato nella propria corrispondenza privata in anni precedenti, descrivendo le proprie attività di ricerca, è essenziale per cogliere, al di là dell'aspetto più superficiale del testo, cosa avesse probabilmente in mente e a cosa alludesse, in che misura parlasse di sé.

Se la *Naturphilosophie* goethiana va dunque tenuta ben presente per ciò che Heisenberg auspicava per il futuro della scienza, al fine di compiere appieno tale transizione però gli occorreva innanzitutto enucleare e portare a compimento le tendenze fondamentali dell'immagine del mondo della fisica classica, a sua volta fondata su concetti di cui tracciò l'origine – in modo non sempre originale, ma talora con significative varianti – fino al pensiero greco. Giova innanzitutto non lasciarsi abbagliare da “il grande scienziato che dice che” e saper discernere gli aspetti più convenzionali dai punti dove c'è un'enfasi più personale: quest'ultima può talora rivelarsi filologicamente opinabile (come nel caso dell'interpretazione delle “forme” platoniche summenzionata), ma, se teniamo a mente che queste riflessioni si rispecchiano nel pensiero fisico di Heisenberg, allora le variazioni diventano non più “errori” ma episodi di ricezione, oltre che punti di aggancio per meglio comprendere l'intreccio della visione heisenberghiana. Più in generale, la lezione qui lampante, ma solitamente non recepita, riguarda la dinamica che intercorre tra le sue riflessioni goethiane e quelle sul pensiero greco, la diversa funzione da loro svolta e il loro inserimento sequenziale in una narrativa ben precisa che accompagnava, e in parte provava retoricamente a legittimare, la *Weltformel*. Spentisi i clamori massmediatici intorno a quest'ultima, che meriterebbero anche più circostanziate analisi per mettere in luce legami e differenze rispetto alle analoghe strategie di diffusione di certa fisica speculativa di oggi, pare che ad Heisenberg non restasse altro che accettare il declino e chiudersi in una sorta di silenzioso isolamento dalla “fisica che conta”.

Una simile presentazione di quanto avvenuto, tuttavia, sarebbe alquanto discutibile e riduttiva¹⁵. Senza addentrarsi qui in alcune ispirazioni che, in tal modo, egli comunque fornì a fisici che pure non accettavano la sua teoria in quanto trattamento fondamentale dei fenomeni subnucleari e tantomeno come *Weltformel*, si può sottolineare come, in tempi più recenti, si sia cercato di rivalutare (o per certi versi di strumentalizzare) l'ormai vago ricordo di quest'ultima secondo la seguente strategia retorica, che si ritrova esemplarmente in un discorso del noto teorico delle stringhe J. Polchinski nel simposio per il centenario di Heisenberg¹⁶ e che è poi stata emulata (e sicuramente lo sarà ancora, per via del centenario della meccanica quantistica ormai alle porte), con diversi gradi di consapevolezza o maldestrezza, da esponenti di altri approcci a questioni ancora aperte della fisica teorica (in maniera non così differente dalla rivendicazione dell'abusatissimo *Einstein's dream*). Con la *Weltformel* Heisenberg avrebbe intuito alcuni aspetti precorritori dei recenti sviluppi, ma le conoscenze dell'epoca non erano sufficienti: ora però – si suggerisce – siamo in grado di rivendicare le sue idee e dar loro forma compiuta (salvo poi specificare che tali teorie necessitano ancora di una messa a punto tanto a livello matematico che sperimentale). Stabilito questo nesso “genealogico” – un *pedigree* che in qualche modo contribuisce ad ancorare tali speculazioni –, ecco che scatta poi il tacito slittamento dal tardo (e in chiaroscuro) Heisenberg alla sua versione giovane e scintillante di successo, della cui luce riflessa dovrebbero brillare i nuovi approcci carichi di promesse: «On to Heligoland!», là dove ci aspetterebbero analoghe “intuizioni”... Da notare, a proposito di “Natura e Tecnica”, come questa evocazione indubbiamente suggestiva, con l'isola nel

¹⁵ Se ne trova traccia persino nell'introduzione ad un'edizione italiana di quattro decenni fa, Heisenberg (1982).

¹⁶ Si veda Polchinski (2004).

Mare del Nord spazzata dai venti che paiono mescolarsi a quelli del *Divano Occidentale-Orientale* che il giovane Heisenberg si era portato con sé, uno scenario cioè senza grandi macchinari e quant'altro¹⁷, sia una sorta di più o meno inconsapevole ripetizione di quel rapporto con la natura che Heisenberg rivendicava goethianamente per l'avvenire della scienza – e che forse già in lui stesso rappresentava una forma di nostalgia per gli anni giovanili. Chiaramente metter in luce questa retorica può dire poco, di per sé, in merito al valore che i diversi approcci fisici di oggi potranno magari rivelare un giorno, ma è anche indubbio che una prospettiva storico-critica permetta di sfrondate le immagini più raffazzonate che, anche per tali vie, vengono spesso offerte della scienza e degli scienziati; e di restituire ad una figura come Heisenberg lo spessore culturale che merita.

4. John Wheeler tra storia e visioni futuristiche

Per quanto John Wheeler non assurga, nel pantheon della fisica novecentesca, al rango di Heisenberg, è nondimeno una figura primaria, di enorme importanza. L'effettivo perché, tuttavia, resta ad oggi piuttosto elusivo. Persino per gli standard odierni di certi curiosi ibridi di scienza e mass media, il semplice aver adottato l'espressione *black hole* dovrebbe risultare una ragione piuttosto dubbia di fama scientifica; per non dire di presunti divulgatori (non meritevoli di esser presi individualmente sul serio) che fanno di Wheeler persino una sorta di personaggio "New Age". Ancora una volta, dunque, è meglio fare una *tabula rasa*, per quanto possibile, e cercare di ricostruire seriamente le attività o la genesi e sviluppo delle idee di quest'uomo.

È grossomodo possibile ripartire la lunga carriera di Wheeler in tre fasi, peraltro seguendo una tripartizione piuttosto standard: la prima, che dagli esordi va fino all'inizio degli anni '50, vede Wheeler come fisico nucleare, sia pure in un senso molto lato come tipico delle versatili figure di spicco dell'epoca. La seconda, che dai primi anni '50 va fino ai primi anni '70, vede Wheeler riorientare i propri interessi, dedicarsi a rispolverare e sviluppare quella che considerava l'eredità principale del suo mentore Albert Einstein, cioè la relatività generale, di cui divenne una delle principali autorità e di cui guidò uno dei principali gruppi di ricerca a Princeton, di fondamentale importanza negli anni '60 anche per la neonata astrofisica relativistica (nel qual contesto bisogna calare il suo ruolo di padrino dei buchi neri). Infine, l'ultima fase della sua carriera è caratterizzata da una notevole molteplicità di dialoghi transdisciplinari e/o con figure di spicco, in larga parte ancora inesplorati (curioso, per esempio, che il suo confronto con Ilya Prigogine resti pressoché ignoto)¹⁸, tutti volti alla ricerca ed esplorazione di idee che gli consentissero di intravedere un livello più profondo della fisica a sua disposizione, ed è in questo contesto che va collocato il celebre *it from bit*. Ma, al di là di questa tripartizione, ciò che è interessante sottolineare è il modo in cui le indagini di Wheeler, lungi dal limitarsi a cambiare semplicemente ambito di ricerca, crebbero gradualmente in scopo a partire da questioni e idee generative che lo accompagnarono per decenni attraverso campi considerati piuttosto disparati. Il percorso di questa singolare figura è dapprima quello di un giovane che, affascinato dai fenomeni naturali e dai congegni tecnici, si cimenta in questioni specifiche – ma non prive di respiro teoretico – che all'epoca erano di frontiera,

¹⁷ Come facilmente intuibile, la svolta contro il pensare "atomistico" comporta anche, tra l'altro, una concezione della fisica e dei suoi scopi di ricerca ben differente dalla narrativa che per certi versi divenne poi molto diffusa, vale a dire la progressiva costruzione di acceleratori di particelle sempre più grandi e potenti per esplorare scale via via più piccole alla ricerca di particelle più fondamentali, forse le ultime o forse no. Aspetto contestato anche da Wheeler, come si accennerà tra poco, e nel suo caso non si può di certo insinuare che avesse fatto di necessità virtù per la mancanza di strumentazione adeguata a portata di mano (come per Heisenberg nella Germania del dopoguerra). Non si tratta ovviamente di rispolverare ed eroicizzare vecchie posizioni "sconfitte", ma di essere consapevoli della loro esistenza, problematicità e complessità, di contro a facili liquidazioni o banalizzazioni (questo nesso tra Heisenberg e Wheeler, per esempio, è del tutto inesplorato e certo non privo di risonanze interessanti).

¹⁸ Si veda in proposito Blum, Furlan (2022), contributo al quale si rimanda anche per la cronologia e per le svolte concettuali presentate nel resto della sezione. Ulteriori aspetti metodologici di Wheeler si possono trovare trattati in Blum, Brill (2020) e in Furlan (2020) e (2021), dove tra l'altro si sottolineano maggiormente gli usi wheeleriani del passato e vari aspetti anche personali-psicologici.

come la fisica nucleare, per poi allargare via via i propri campi di indagine e, infine, interrogarsi su principi comuni e più profondi. Non è difficile riconoscere in questo itinerario lo *thauma* iniziale, seguito da una vasta indagine di *tà physikà* per interrogarsi poi su *metà tà physiká*, senza assumere *ab initio* mondi separati e trascendenti e via dicendo¹⁹. Inoltre, di contro a certi volgari fraintendimenti che pretendono dalla scienza risposte da ripetere una volta per tutte, giova sottolineare la dimensione sempre interrogativa di quelle audaci proposte dell'ultimo Wheeler, anche quando non accompagnate da punti interrogativi – l'importanza di un inestinguibile interrogarsi viene da lui stesso sottolineata costantemente in riferimento al suo esempio ispiratore, Niels Bohr, e d'altronde per decenni Wheeler ha svolto una vera e propria funzione maieutica nei confronti di allievi e collaboratori, continuando ad offrire fruttuosi suggerimenti ben oltre il pensionamento. Si tratta, chiaramente, di aspetti molto più elusivi rispetto a quelli che monopolizzano l'attenzione dei già menzionati "risultatisti".

Come nel caso di Heisenberg, le considerazioni che vogliamo qui proporre muovono dalla situazione di fine anni '40, con l'esplosione del *particle zoo*. Negli anni immediatamente antecedenti, Wheeler era stato impegnato a sviluppare, in parte con l'ausilio del suo allievo Feynman, un'ambiziosa immagine della natura che, oltre a muovere alcuni passi nella direzione dell'elettrodinamica quantistica, intendeva liberarsi della nozione di "campo" come se si trattasse di un artificio matematico. In altri termini, si cercava di costruire una fisica con una ontologia puramente particellare. Per quanto, come già accennato, queste idee ebbero una certa fecondità euristica, a livello di programma entrarono in crisi sia per difficoltà interne sia per la scoperta di altri tipi di particelle presunte elementari. Il nuovo modo di fare fisica che stava emergendo, seguendo a rimorchio gli ultimi output sperimentali e aggiungendo termini *ad hoc* qua e là per accomodarsi alla fenomenologia disponibile, non era congeniale a Wheeler, che arrivò persino ad invocare un'isola deserta per isolarsi dalla messe di nuovi dati sperimentali e dedicarsi a meditare più a fondo principi già ben stabiliti e comprovati, cercando di esplorarne le estreme conseguenze. Questo approccio euristico ricevette persino un nome: *daring conservatism* (da confrontarsi tra l'altro, non senza una punta di giocosità, con lo slogan di Eisenhower *dynamic conservatism*). Iniziò quindi a considerare come eroe e, in seguito, persino come padre del *daring conservatism* quello che fu uno dei suoi due grandissimi mentori, il già citato Niels Bohr. A quali principi, tuttavia, si sarebbe applicato il *daring conservatism*? Ecco che qui si vede la prima "conversione" di Wheeler, oltre che una sua scommessa per l'epoca piuttosto audace: lo avrebbe applicato alla relatività generale, cioè a quella che riteneva l'eredità principale dell'altro suo grande mentore, Albert Einstein. È quindi interessante notare come, in questa fase di *krísis* e di valutazione di strategie future, Wheeler, quarantenne, decida di reinventare per certi versi la propria affermata carriera, operi una sorta di *switch* gestaltico abbandonando il precedente tentativo di ontologia particellare, ormai languente, e decida di rispolverare una teoria che, di quella nozione di campo che prima intendeva eliminare, faceva un ingrediente fondamentale²⁰. L'ulteriore passo compiuto da Wheeler fu il seguente: come tentare di costruire una teoria onnicomprensiva a partire dalla geometria della relatività generale? Come fare a meno delle particelle come "ingredienti" dati? Qui Wheeler iniziò ad introdurre varie idee originali, che trasformarono la relatività generale nel suo proprio programma di ricerca, chiamato *geometrodynamic*, comunque sempre fatto precedere dal vessillo di Einstein. La visione guida della geometrodinamica di Wheeler mirava, almeno nei suoi scopi più ambiziosi e a lunga durata, ad una sorta di monismo pangeometrico, in cui particelle e quant'altro venivano costruiti, in ultima istanza, a partire da increspature o fluttuazioni dovute al carattere per natura quantistico (e qui chiaramente c'era una forte differenza con Einstein) della geometria dello spaziotempo.

¹⁹ Non che con tale notazione gli si voglia attribuire un retroterra culturale che, a differenza di Heisenberg, Wheeler non possedeva, e che acquisì (in modo peculiare e parziale) solo in età decisamente avanzata.

²⁰ Anzi, più che di un semplice *switch*, non sarebbe fuori luogo parlare di un sistematico portare alle estreme conseguenze una tesi fino a far apparire la sua antitesi, e fare altrettanto con quest'ultima.

Alla luce delle considerazioni precedenti, a parte gli aspetti tecnici che qui non s'intende trattare, tutto ciò significa che Wheeler concepiva la propria attività di quel periodo come lo sviluppo dei risultati di Einstein, ma con una metodologia che sosteneva di aver preso da Bohr: per lui la grande sfida, ancora oggi aperta, quella di conciliare relatività generale e fisica quantistica, era dunque anche una questione personale, nel tentativo di conciliare l'eredità dei suoi due mentori. Chiaramente, ciò svolgeva anche una funzione di ancoraggio, *in primis* agli occhi di Wheeler stesso, nel momento in cui muoveva i primi passi in nuove direzioni piuttosto lontane dal *mainstream* e, per così dire, si forgiava borgesianamente i propri precursori. Si capisce allora come mai un articolo fondamentale di quel periodo si apra con un'epigrafe – decisamente inusuale per un articolo di fisica²¹ – famosamente attribuita a Confucio: «I transmit but I do not create; I am sincerely fond of the ancient». Ciò che è qui importante sottolineare è questo rapporto peculiare con il passato – un passato decisamente recente, si potrà far notare, ma, andando ad esaminare i *Relativity Notebooks* che proprio in questo periodo Wheeler iniziò a tenere, si scopre in realtà un interesse e un uso della storia che va ben oltre le aspettative, e da lì in poi destinato a crescere ancora. Questi *Relativity Notebooks* non vanno intesi come quaderni di laboratorio o di calcoli – sono anche quello, ma includono trascrizioni di conversazioni avute con altri illustri colleghi, note su seminari e conferenze, appunti preparatori per lezioni e discorsi, progetti di libri, ritagli di giornale, recensioni, immagini e vignette, aneddoti e citazioni, e quant'altro: se ci si immagina lo zibaldone di un fisico con svariati interessi, si ha un buon punto di partenza. Dato il calibro della figura di Wheeler stesso, oltre che la sua vicinanza a gran parte delle figure chiave di quei decenni, questi quaderni spessi, eleganti e ben tenuti – oggi negli archivi che Wheeler, significativamente, ha lasciato all'*American Philosophical Society* a Philadelphia – rappresentano, com'è facile indovinare, una testimonianza storica unica e di fondamentale importanza, per quanto in larga parte pressoché inesplorata fino ad una manciata di anni fa. Inoltre, essi incarnano il tipo ideale di documentazione per esercitare quella ricostruzione euristica che si è sopra enfatizzata²².

C'è però un'altra attività, parallela all'incirca allo sviluppo della geometrodinamica, che vale la pena di sottolineare ma che, al solito, ha ricevuto ben poca attenzione. Tra fine anni '40 e metà anni '50, cioè proprio negli anni di svolta che si sono considerati qui, Wheeler trascorse dei periodi piuttosto estesi a Parigi e a Leida. Oltre alle numerose curiosità e citazioni storiche che ebbe l'occasione di raccogliere, divenne lettore²³ di *The Paris Review*, un giornale fondato a Parigi nel '53 in cui affermati scrittori (da Eliot a Borges, da Pound a Nabokov, guardando ai nomi che sarebbero stati inclusi) venivano intervistati con un particolare accento sui loro processi creativi. Un pensatore originale come Wheeler ne rimase prevedibilmente intrigato e vagheggiò qualcosa di simile per raccogliere e trasmettere ai posteri le esperienze creative, le strategie euristiche e più in generale la vissuta testimonianza delle figure fondatrici della nuova fisica, che iniziavano ad avere una certa età. Nel corso degli anni '50, infatti, ci fu la prematura scomparsa di Enrico Fermi e di Wolfgang Pauli, per esempio, e in mezzo fu anche il turno di Einstein; all'inizio del decennio successivo, fu la volta di Schrödinger e di Bohr. Rendersi conto di ciò, assieme al bisogno di nuove modalità comunicative per dare una diversa immagine della fisica ad un pubblico più ampio e non lasciare che lo shock dovuto al ruolo della scienza nell'ultimo conflitto mondiale prendesse il sopravvento, spinse Wheeler, ormai da anni una figura di riferimento per la comunità dei fisici nel suo continente e non solo, a contribuire alla messa in moto di uno dei più estesi progetti di storia della scienza, *Sources for History of Quantum*

²¹ Persino dopo le mode orienteggianti in stile *Tao della fisica* o affini, che non paiono però molto interessate al confucianesimo! L'epigrafe è in Misner, Wheeler (1957).

²² L'esempio principe in cui si può toccare con mano l'enorme differenza tra le narrative diffuse e l'effettiva genesi di risultati e approcci è quello legato ad una delle ragioni della fama di Wheeler, i buchi neri. Centinaia di lavori sono stati dedicati ad essi e a darne qualche cenno dall'aria storica, ma perché Wheeler si trovasse nella posizione di poter compiere un simile atto e quali fossero i suoi contributi è rimasto incredibilmente taciuto, salvo un paio di testimonianze di suoi collaboratori, peraltro non prive di tensioni tra loro. Il lettore interessato può trovare questa storia in Furlan (2021).

²³ Si veda Te Heesen (2020).

Physics, poi condotto da Thomas Kuhn e altri. Il formato dell'intervista, fonte di molte frustrazioni per Kuhn, era stato suggerito da Wheeler sulla base del modello di *The Paris Review*. Ora, a prescindere dall'opportunità di avvalersi di un simile mezzo, in certe condizioni e a distanza di decenni, e da altre questioni di metodologia storiografica, quel che è interessante sottolineare è la concezione unitaria delle "opere della mente" che Wheeler evidentemente nutriva. I suoi usi della storia sono in realtà piuttosto sfaccettati e sarebbe facile riecheggiare la tripartizione di Nietzsche e rivendicare la parziale compresenza (compresenza che però già distanzia dal messaggio nicciano, ovviamente) di uno sforzo antiquario, volto alla rispettosa preservazione fine a se stessa del passato; di una strumentalizzazione monumentale, a mo' di sprone per far sentire coinvolte le nuove leve in una tradizione e, in generale, indirizzare con grandiose narrative le direzioni di ricerca dei collaboratori; e di uno sguardo critico, capace di selezionare selettivamente e trasfigurare per analogia alcuni tratti adoperabili in una situazione presente.

Queste tendenze, con il passare degli anni, assunsero ulteriore importanza in Wheeler. Il dialogo con le sue due principali fonti di ispirazioni, Einstein e Bohr, proseguì anche dopo la loro morte, come se avesse interiorizzato i loro punti di vista e facesse proseguire dialetticamente dentro di sé le loro celebri dispute. Il tentativo di comprendere più a fondo la tradizione culturale, ivi incluse ovviamente le fonti filosofiche, che li avevano ispirati o comunque plasmati portò Wheeler a confrontarsi – a modo suo, ovviamente, non certo con minuzia filologica – con i grandi filosofi del passato, guadagnandosi così altri *intracranial colleagues* – espressione tipicamente wheeleriana che, ricordando in parte gli "amici segreti" di petrarchiana memoria, rappresenta qualcosa di piuttosto eccezionale tra le figure del mondo della scienza recente²⁴. Tra questi "interlocutori" un ruolo di primo piano venne svolto da Leibniz, in un modo articolato, originale e transdisciplinare che forse non sarebbe stato indegno di Leibniz stesso²⁵. Dare il giusto spessore allo sviluppo del pensiero scientifico permette, evidentemente, di cercare e trovare la filosofia tra "le pieghe della scienza", per riecheggiare la celebre espressione di Geymonat, laddove la superficialità di sguardo di non poche figure, ivi inclusi storici e filosofi della scienza di vari orientamenti, non sembra neppure sospettare di poter trovare qualcosa. Per concludere su questa nota, è forse il caso di lasciare la parola a Wheeler medesimo:

Clemenceau, the Prime Minister of France in World War One, said that war is too important to be left to the generals. He took control of the situation. And one could say that philosophy is too important to science to be left to the philosophers. But there are two extreme views. There is the view of one man who describes the philosophy of science as a tin can which is tied by string behind the automobile of science. And as science goes quietly ahead, this tin can rattles on the street and it is what makes all the noise. That is one view. But the other view is much deeper. Thomas Mann, in his lecture celebrating the eightieth birthday of Sigmund Freud, said: "Science never makes an advance until philosophy authorizes and encourages it to do so"... Well, you can have your choice between those two views!²⁶

²⁴ Non è fuori luogo aggiungere, a tal riguardo, che, in una lettera datata 12 ottobre 1972 (John A. Wheeler Papers, American Philosophical Society Library, Philadelphia, box 11), Wheeler invitò Heisenberg alle grandi celebrazioni copernicane dell'anno successivo presso lo Smithsonian Institute e, dopo aver evocato la "charismatic chain" che sentiva risuonare nella tradizione scientifica generazione dopo generazione, aggiunse: «We have considered all the distinguished figures in the world of science who have a feeling for the vital importance of this "charismatic chain" and concluded that there is no one in the world whom we would rather hear speak on this topic than you». Heisenberg avrebbe accettato l'invito e contribuito con il suo saggio *Tradition in Science*, contenuto in traduzione italiana in Heisenberg (1982).

²⁵ Come fatto notare, discusso e ricostruito in Furlan (2022). Forse ancor maggiore che nel caso di Heisenberg, il fraintendimento dei riferimenti filosofici wheeleriani può esser ben esemplificato dal seguente passo, tratto da un volume di "excellent scholarship", in cui si fa notare che Wheeler «reached back 2,500 years, to quote Parmenides of Elea, a poet who spoke of possible worlds brought into being by observation» (Byrne, 2010, p. 329). In effetti, non si può negare che Parmenide scrivesse in versi...

²⁶ Bičák (2009).

Bibliografia

- Bičák, J. (2009), "The Art of Science", *General Relativity and Gravitation*, n. 41, pp. 679-689.
- Blum, A.S. (2019), *Heisenberg's 1958 Weltformel and the Roots of Post-Empirical Physics*, Springer, Berlin.
- Blum, A.S., Brill, D.R. (2020), *Tokyo Wheeler or the Epistemic Preconditions of the Renaissance of Relativity*, in A.S. Blum, R. Lalli, J. Renn (eds.), *The Renaissance of General Relativity in Context*, Birkhäuser, Boston, pp. 141-188.
- Blum, A.S., Furlan, S. (2022), *How John Wheeler Lost His Faith in the Law*, in Y. Ben-Menahem (ed.), *Rethinking the Concept of Laws of Nature: Natural Order in the Light of Contemporary Science*, Springer, Berlin, pp. 283-322.
- Blum, A.S., Jähnert, M., Lehner, C., Renn, J. (2017), "Translation as Heuristics: Heisenberg's Turn to Matrix Mechanics", *Studies in History and Philosophy of Science*, n. 60, pp. 3-22.
- Blum, A. S., Jähnert, M. (2022), "The Birth of Quantum Mechanics from the Spirit of Radiation Theory", *Studies in History and Philosophy of Science*, n. 91, pp. 125-147.
- Byrne, P. (2010), *The Many Worlds of Hugh Everett III*, Oxford University Press, Oxford.
- Carson, C. (2010), *Heisenberg in the Atomic Age. Science and the Public Sphere*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cassidy, D.C. (2009), *Beyond Uncertainty. Heisenberg, Quantum Physics, and the Bomb*, Bellevue Literary Press, New York.
- Furlan, S. (2020), *Einstein's Mantle, Bohr's Shadow: Glimpses from Wheeler's Relativity Notebook III*, in A. La Rana e P. Rossi (ed. by), *Proceedings of the 39th SISFA conference*, Pisa University Press, Pisa, pp. 221-227.
- Furlan, S. (2021), *John Wheeler Between Cold Matter and Frozen Stars: The Road Towards Black Holes*, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin.
- Furlan, S. (2022), "Merging Labyrinths: Leibniz in J.A. Wheeler's Quest", *Studia Leibnitiana*, n. 52, pp. 123-155.
- Furlan, S., Gaudenzi, R. (2022), *Looking Stereoscopically at Goethe vs. Newton: Heisenberg and Pauli on the Future of Physics*, in V. Zanini, A. Naddeo e F. Bònoli (ed. by), *Proceedings of the 41st SISFA conference*, Pisa University Press, Pisa, pp. 190-196.
- Heisenberg W. (1978), *Mutamenti nelle basi della scienza*, trad. it. a cura di A. Verson, Bollati Boringhieri, Torino.
- Heisenberg W. (1982), *La tradizione nella scienza*, trad. it. a cura di R. Pizzi, Garzanti, Milano.
- Heisenberg W. (2019), *Reality and Its Order*, Springer, Berlin.
- Misner, C.W., Wheeler, J.A. (1957), "Classical Physics as Geometry", *Annals of Physics*, n. 2(6), pp. 525-603.
- Omodeo, P.D., Ienna, G., Badino, M. (2021), *Lineamenti di Epistemologia Storica: Correnti e temi*, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin.
- Polchinski, J. (2004), *M Theory: Uncertainty and Unification*, in G.W. Buschhorn e J. Wess (eds.), *Fundamental Physics – Heisenberg and Beyond*, Springer, Berlin, pp. 157-166.
- Renn, J. (ed.) (2007), *The Genesis of General Relativity*, 4 voll., Springer, Dordrecht.
- Renn, J. (2012), *Sulle spalle di giganti e nani. La rivoluzione incompiuta di Albert Einstein*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Rheinberger, H.-J. (2007), *Historische Epistemologie zur Einführung*, Junius, Hamburg.
- Te Heesen, A. (2020), "Thomas S. Kuhn, Earwitness: Interviewing and the Making of a New History of Science", *Isis*, vol. 111, n. 1, pp. 86-97.