

Einstein e i «quanta»

I giornali francesi, inglesi ed americani hanno dato ampio rilievo alla solenne riunione tenutasi nei giorni scorsi a Parigi ad iniziativa dell'UNESCO per commemorare il decimo anniversario della morte di Albert Einstein e dell'abate Pietro Teilhard de Chardin. Alla riunione, cui hanno partecipato figure veramente eminenti della scienza di tutti i Paesi, come Louis de Broglie, André Lichnerowicz, Julian Huxley, Werner von Heisenberg, particolare importanza ha assunto l'intervento di Robert Oppenheimer, per quella parte, in particolare, che riguarda la figura e l'opera di Einstein.

Preoccupato di dissipare una leggenda che, secondo lui, si starebbe formando, di un Einstein sovrumano, onnisciente, Oppenheimer ha forse messo, a parere di molti, eccessivamente l'accento su alcune discutibili posizioni scientifiche e su certe contraddizioni del padre della relatività, specie negli ultimi della sua vita, ed ha rievocato la lunga ed accesa polemica che lo oppose a Niels Bohr.

Ora, è fuor di dubbio che Einstein, che aveva costruito la sua teoria — ristretta e generalizzata — della relatività su concetti, sia pur allargati, di causalità, di continuità, di determinismo, ha nutrito sempre, anche negli ultimi anni, perplessità, dubbi, riserve nei confronti della teoria dei quanta, fondamento della microfisica moderna. Egli vedeva in quella teoria uno dei più gravi ostacoli al suo tentativo di armonizzare in un unico schema concettuale le teorie dell'elettricità e della gravitazione, in modo di render conto della discontinuità delle particelle ele-

mentari, ch'egli riteneva solo apparente.

Ma non ritengo che si possano attribuire i dubbi e le perplessità di Einstein nei confronti della teoria dei quanta (di cui, fra l'altro, egli può, a giusto titolo, essere considerato uno degli ispiratori se non addirittura uno dei creatori) a involuzione senile, come sembra ritenere l'Oppenheimer. Son certo che qualcuno dei miei lettori ricorda, con me, che la prima clamorosa manifestazione della divergenza di idee fra Einstein e Bohr trae origine da una indimenticata conferenza, tenuta dal Bohr al Congresso internazionale dei fisici, riunitosi a Como nel lontano 1927.

In quell'occasione, il Bohr aveva brillantemente e tenacemente sostenuto il concetto di «complementarità» come l'unico capace di abbracciare gli aspetti caratteristici dell'individualità dei fenomeni quantici, chiarendo, al contempo, gli aspetti particolari del problema dell'osservazione nel campo dell'esperienza. Egli aveva insistito nell'affermare che — su scala atomica e subatomica — è la realtà, e non il nostro pensiero, che sfugge ad ogni espressione precisa di tipo classico. Ammetterlo — precisava il Bohr — non significa limitare la portata della descrizione dei fenomeni atomici in termini di meccanica quantica, bensì mettere in luce com'essa costituisca una «generalizzazione razionale dell'ideale stesso della causalità».

Ma Einstein — che non aveva partecipato al Congresso di Como — non condivise allora, e persistette, poi, tenacemente nel non condividere le idee sostenute da Niels Bohr. In un

breve scritto di risposta al discorso di Bohr egli sostenne che la teoria quantica, se concepita come descrizione di «sistemi individuali», conduce ad interpretazioni teoriche innaturali, che cessano subito di essere necessarie se si ammette, invece, ch'essa costituisce la descrizione di «insieme di sistemi» e non di «sistemi individuali». E concluse affermando: «Supponendo coronati da successo gli sforzi per arrivare ad una descrizione fisica completa dell'universo, la teoria quantica statistica assumerebbe, nel quadro della fisica del futuro, un posto approssimativamente analogo a quello occupato dalla meccanica statistica nel quadro della meccanica classica. Sono fermamente convinto che l'evoluzione della fisica teorica seguirà questa via; ma il cammino sarà lungo e difficile».

Il profondo fossato apertosi fra fisica classica (nel cui quadro rientra tutta l'opera scientifica di Einstein), basata sull'ipotesi della continuità delle grandezze, e microfisica, obbligata a tener conto del carattere quantico, discontinuo, dei fenomeni corpuscolari, fu in quell'occasione, e forse per la prima volta, apertamente e crudamente messo in luce. Einstein rimase da allora, malgrado qualche dubbio e qualche perplessità, ancorato alla concezione determinista. Ma tutti i suoi sforzi per dare alla realtà dei fenomeni atomici una espressione precisa di tipo classico non hanno mai avuto successo. Ed il grande problema non ha, d'altronde, ancora trovato completa e soddisfacente soluzione ad opera d'altri.

Giovanni Gallarati

Bohr e Einstein *L. S. G.*

EVOLUZIONE DEL METODO SCIENTIFICO

AGGIORNAMENTI

La costante riflessione critica esercitata dagli scienziati sul loro lavoro e sui loro procedimenti

Non c'è stato ancora alcun grande protagonista della scienza contemporanea che non abbia espresso, con sempre maggiore insistenza, le proprie personali riflessioni sul significato della conoscenza scientifica e sul rapporto esistente tra questa e gli altri ambiti del sapere umano. Si pensi ai lavori di Oppenheimer, Schrodinger, Planck, Oppenheimer, per citare solo i casi più illustri. Tuttavia la ricerca sui fondamenti del sapere e sul rapporto tra scienza e società, tipica dei grandi scienziati, non è in se stessa tanto indicativa e interessante quanto la constatazione che non c'è oggi quasi alcuno studioso che non inserisca, nell'esplicitazione delle proprie teorie, una riflessione sulle conseguenze metodologiche del proprio lavoro.

Il momento della riflessione metodologica è ormai un fattore costante, sia nella pratica che nella preparazione della ricerca. Gli operatori di ogni seria ricerca scientifica. Questa particolare condizione della scienza moderna, e in specie della fisica, è ancora più rilevante in determinati settori, come la teoria dell'informazione, dove il lavoro metodologico costituisce la quasi totalità dell'andamento complessivo della ricerca.

La costante riflessione critica esercitata dagli scienziati sul loro lavoro ha finito col dare un significato del tutto nuovo a concetti già tradizionalmente acquisiti dalle scienze e, in particolare, al fondamentale concetto di «osservazione sperimentale»: un avvio alla comprensione di una nuova dimensione e interpretazione dell'osservazione sperimentale è, a nostro avviso, non tanto importante per gli scienziati, specie per i fisici, dai quali è stato definitivamente acquisito sino a divenire un vero e proprio alito metafisico, quanto per chi voglia intrufarsi nella stessa, all'apparenza tanto inaccessibile, della scienza contemporanea. E' questa una esigenza cui l'uomo di oggi, specie se occupato in attività lontane dalla scienza, non può sottrarsi, pena il rischio di vivere in un mondo sempre più indifferente ed estraneo.

Non si tratta soltanto di riconoscere o almeno intuire il senso di quelle, che tradiscono o immediatamente in progresso tecnologico condizionano la vita economica e sociale e modellano le stesse strutture politiche, ma anche di ricondurre al modo comune, attuale di vedere la realtà, proprio dell'esperienza quotidiana, la diversa concezione che ne dà la scienza. In effetti la scienza contemporanea, se si fa eccezione dall'indole razionale dei suoi dati, ha una posizione strutturalmente affine a quella della filosofia del secolo scorso, caratterizzata, com'è noto, dal rifiuto di accettare le conclusioni del senso comune intorno alla realtà. Questo rifiuto non è però, nel caso della scienza, altrettanto programmatico, perché ambizioso di ogni teoria scientifica rigorosa e quella di far collimare il più possibile esperienza scientifica ed esperienza quotidiana, attraverso un procedimento che può essere ricco di studio senza eccessiva difficoltà.

Per tutti noi è chiaro che cosa si debba intendere per osservazione sperimentale, assunta nella sua classica accezione, la stessa analisi del fenomeno, la formulazione di un'ipotesi matematica, che della sua riprova, deve peraltro essere la più semplice possibile, e la verifica sperimentale dell'ipotesi; la collimazione perfetta tra ipotesi e verifica che conduce alla formulazione della legge, eccetera. Questo insieme di operazioni, che in ultima analisi risale a Galileo, è tipo possibile della scienza, e non è in se stesso relativo, ma si ritiene che il classico metodo sperimentale venne elaborato per l'osservazione di fenomeni macroscopici e che, pertanto, si rivela inadeguato in certi settori della fisica moderna, cioè in particolare nello studio del comportamento delle particelle elementari. In questo settore della scienza il concetto tradizionale di osservazione sperimentale è radicalmente mutato: non è infatti possibile in fisica nucleare studiare sull'interazione del comportamento dell'osservatore, ritenuta la condizione prima dell'oggettività dell'esperienza, data l'interazione fisica esistente tra i mezzi di osservazione, le modalità di questa stessa e lo stato del sistema osservato.

Tuttavia deve dimostrarsi la complementarità tra la fisica classica e i suoi metodi da una parte e la nuova teoria dall'altra, perché altrimenti non sarebbe possibile neppure l'effettiva utilizzazione della fisica contemporanea. Tuttavia se questa complementarità è ovvia in relazione alla natura stessa di ogni scienza, che deve sempre presentarsi in armonia con i suoi presupposti iniziali, quali che siano i momenti della sua evoluzione, non è altrettanto ovvia per quanto riguarda la fisica contemporanea.

Non è stato ancora alcun grande protagonista della scienza contemporanea che non abbia espresso, con sempre maggiore insistenza, le proprie personali riflessioni sul significato della conoscenza scientifica e sul rapporto esistente tra questa e gli altri ambiti del sapere umano. Si pensi ai lavori di Oppenheimer, Schrodinger, Planck, Oppenheimer, per citare solo i casi più illustri. Tuttavia la ricerca sui fondamenti del sapere e sul rapporto tra scienza e società, tipica dei grandi scienziati, non è in se stessa tanto indicativa e interessante quanto la constatazione che non c'è oggi quasi alcuno studioso che non inserisca, nell'esplicitazione delle proprie teorie, una riflessione sulle conseguenze metodologiche del proprio lavoro.

Il momento della riflessione metodologica è ormai un fattore costante, sia nella pratica che nella preparazione della ricerca. Gli operatori di ogni seria ricerca scientifica. Questa particolare condizione della scienza moderna, e in specie della fisica, è ancora più rilevante in determinati settori, come la teoria dell'informazione, dove il lavoro metodologico costituisce la quasi totalità dell'andamento complessivo della ricerca.

La costante riflessione critica esercitata dagli scienziati sul loro lavoro ha finito col dare un significato del tutto nuovo a concetti già tradizionalmente acquisiti dalle scienze e, in particolare, al fondamentale concetto di «osservazione sperimentale»: un avvio alla comprensione di una nuova dimensione e interpretazione dell'osservazione sperimentale è, a nostro avviso, non tanto importante per gli scienziati, specie per i fisici, dai quali è stato definitivamente acquisito sino a divenire un vero e proprio alito metafisico, quanto per chi voglia intrufarsi nella stessa, all'apparenza tanto inaccessibile, della scienza contemporanea. E' questa una esigenza cui l'uomo di oggi, specie se occupato in attività lontane dalla scienza, non può sottrarsi, pena il rischio di vivere in un mondo sempre più indifferente ed estraneo.

Non si tratta soltanto di riconoscere o almeno intuire il senso di quelle, che tradiscono o immediatamente in progresso tecnologico condizionano la vita economica e sociale e modellano le stesse strutture politiche, ma anche di ricondurre al modo comune, attuale di vedere la realtà, proprio dell'esperienza quotidiana, la diversa concezione che ne dà la scienza. In effetti la scienza contemporanea, se si fa eccezione dall'indole razionale dei suoi dati, ha una posizione strutturalmente affine a quella della filosofia del secolo scorso, caratterizzata, com'è noto, dal rifiuto di accettare le conclusioni del senso comune intorno alla realtà. Questo rifiuto non è però, nel caso della scienza, altrettanto programmatico, perché ambizioso di ogni teoria scientifica rigorosa e quella di far collimare il più possibile esperienza scientifica ed esperienza quotidiana, attraverso un procedimento che può essere ricco di studio senza eccessiva difficoltà.

Per tutti noi è chiaro che cosa si debba intendere per osservazione sperimentale, assunta nella sua classica accezione, la stessa analisi del fenomeno, la formulazione di un'ipotesi matematica, che della sua riprova, deve peraltro essere la più semplice possibile, e la verifica sperimentale dell'ipotesi; la collimazione perfetta tra ipotesi e verifica che conduce alla formulazione della legge, eccetera. Questo insieme di operazioni, che in ultima analisi risale a Galileo, è tipo possibile della scienza, e non è in se stesso relativo, ma si ritiene che il classico metodo sperimentale venne elaborato per l'osservazione di fenomeni macroscopici e che, pertanto, si rivela inadeguato in certi settori della fisica moderna, cioè in particolare nello studio del comportamento delle particelle elementari. In questo settore della scienza il concetto tradizionale di osservazione sperimentale è radicalmente mutato: non è infatti possibile in fisica nucleare studiare sull'interazione del comportamento dell'osservatore, ritenuta la condizione prima dell'oggettività dell'esperienza, data l'interazione fisica esistente tra i mezzi di osservazione, le modalità di questa stessa e lo stato del sistema osservato.

Tuttavia deve dimostrarsi la complementarità tra la fisica classica e i suoi metodi da una parte e la nuova teoria dall'altra, perché altrimenti non sarebbe possibile neppure l'effettiva utilizzazione della fisica contemporanea. Tuttavia se questa complementarità è ovvia in relazione alla natura stessa di ogni scienza, che deve sempre presentarsi in armonia con i suoi presupposti iniziali, quali che siano i momenti della sua evoluzione, non è altrettanto ovvia per quanto riguarda la fisica contemporanea.

Non è stato ancora alcun grande protagonista della scienza contemporanea che non abbia espresso, con sempre maggiore insistenza, le proprie personali riflessioni sul significato della conoscenza scientifica e sul rapporto esistente tra questa e gli altri ambiti del sapere umano. Si pensi ai lavori di Oppenheimer, Schrodinger, Planck, Oppenheimer, per citare solo i casi più illustri. Tuttavia la ricerca sui fondamenti del sapere e sul rapporto tra scienza e società, tipica dei grandi scienziati, non è in se stessa tanto indicativa e interessante quanto la constatazione che non c'è oggi quasi alcuno studioso che non inserisca, nell'esplicitazione delle proprie teorie, una riflessione sulle conseguenze metodologiche del proprio lavoro.

Il momento della riflessione metodologica è ormai un fattore costante, sia nella pratica che nella preparazione della ricerca. Gli operatori di ogni seria ricerca scientifica. Questa particolare condizione della scienza moderna, e in specie della fisica, è ancora più rilevante in determinati settori, come la teoria dell'informazione, dove il lavoro metodologico costituisce la quasi totalità dell'andamento complessivo della ricerca.

La costante riflessione critica esercitata dagli scienziati sul loro lavoro ha finito col dare un significato del tutto nuovo a concetti già tradizionalmente acquisiti dalle scienze e, in particolare, al fondamentale concetto di «osservazione sperimentale»: un avvio alla comprensione di una nuova dimensione e interpretazione dell'osservazione sperimentale è, a nostro avviso, non tanto importante per gli scienziati, specie per i fisici, dai quali è stato definitivamente acquisito sino a divenire un vero e proprio alito metafisico, quanto per chi voglia intrufarsi nella stessa, all'apparenza tanto inaccessibile, della scienza contemporanea. E' questa una esigenza cui l'uomo di oggi, specie se occupato in attività lontane dalla scienza, non può sottrarsi, pena il rischio di vivere in un mondo sempre più indifferente ed estraneo.

Non si tratta soltanto di riconoscere o almeno intuire il senso di quelle, che tradiscono o immediatamente in progresso tecnologico condizionano la vita economica e sociale e modellano le stesse strutture politiche, ma anche di ricondurre al modo comune, attuale di vedere la realtà, proprio dell'esperienza quotidiana, la diversa concezione che ne dà la scienza. In effetti la scienza contemporanea, se si fa eccezione dall'indole razionale dei suoi dati, ha una posizione strutturalmente affine a quella della filosofia del secolo scorso, caratterizzata, com'è noto, dal rifiuto di accettare le conclusioni del senso comune intorno alla realtà. Questo rifiuto non è però, nel caso della scienza, altrettanto programmatico, perché ambizioso di ogni teoria scientifica rigorosa e quella di far collimare il più possibile esperienza scientifica ed esperienza quotidiana, attraverso un procedimento che può essere ricco di studio senza eccessiva difficoltà.

Per tutti noi è chiaro che cosa si debba intendere per osservazione sperimentale, assunta nella sua classica accezione, la stessa analisi del fenomeno, la formulazione di un'ipotesi matematica, che della sua riprova, deve peraltro essere la più semplice possibile, e la verifica sperimentale dell'ipotesi; la collimazione perfetta tra ipotesi e verifica che conduce alla formulazione della legge, eccetera. Questo insieme di operazioni, che in ultima analisi risale a Galileo, è tipo possibile della scienza, e non è in se stesso relativo, ma si ritiene che il classico metodo sperimentale venne elaborato per l'osservazione di fenomeni macroscopici e che, pertanto, si rivela inadeguato in certi settori della fisica moderna, cioè in particolare nello studio del comportamento delle particelle elementari. In questo settore della scienza il concetto tradizionale di osservazione sperimentale è radicalmente mutato: non è infatti possibile in fisica nucleare studiare sull'interazione del comportamento dell'osservatore, ritenuta la condizione prima dell'oggettività dell'esperienza, data l'interazione fisica esistente tra i mezzi di osservazione, le modalità di questa stessa e lo stato del sistema osservato.

Tuttavia deve dimostrarsi la complementarità tra la fisica classica e i suoi metodi da una parte e la nuova teoria dall'altra, perché altrimenti non sarebbe possibile neppure l'effettiva utilizzazione della fisica contemporanea. Tuttavia se questa complementarità è ovvia in relazione alla natura stessa di ogni scienza, che deve sempre presentarsi in armonia con i suoi presupposti iniziali, quali che siano i momenti della sua evoluzione, non è altrettanto ovvia per quanto riguarda la fisica contemporanea.

Lo spettro del Sole

Un esempio di come si studia il Sole: la foto mostra una zona dello spettro solare intrisa in cinquemila angstromi. L'immagine è stata presa alla Torre solare di Arcetri.

Recentemente Harriet H. Mallison, del Goddard Space Flight Center della NASA, ha eseguito una suggestiva sintesi delle informazioni raccolte in questi ultimi tempi — soprattutto grazie all'impiego di razzi e di satelliti artificiali — sulle caratteristiche dello spettro della radiazione elettromagnetica solare. Stoccone tutte le nostre conoscenze sulla costituzione chimica e sullo stato fisico delle parti incolori gassose costituenti la parte più estesa del Sole si basano quasi esclusivamente sulla risonanza e, sull'analisi della radiazione elettromagnetica di origine solare è evidente che ad ogni progresso nello studio dello spettro della radiazione elettromagnetica corrisponde un progresso nelle nostre conoscenze generali sul Sole.

Cominciamo subito che quando si parla di spettro della radiazione elettromagnetica solare, ci si intende riferire a tutte le lunghezze d'onda che il Sole emette a prescindere dai limiti di sensibilità dell'occhio e da qualsiasi trasparenza dell'atmosfera. Sin dal 1873 James Clerk Maxwell, dimostrando che la luce non è altro che energia elettromagnetica propagantesi per onde di particolare lunghezza, apriva la possibilità dell'esistenza di radiazioni elettromagnetiche della stessa natura della luce ma di diversa lunghezza d'onda. In seguito, sia la scoperta delle onde radio che quella dei raggi X e «gamma», confermarono le previsioni di Maxwell e ne avvalorarono la teoria elettromagnetica della luce.

Lo spettro della luce solare, noto sin dai tempi di Newton e di Fraunhofer, comprende le lunghezze d'onda che si estendono da 0,3 a 0,8 micrometri (troviamo che un micron equivale ad un millesimo di millimetro). Sin dall'inizio dell'800 era nota anche l'esistenza di radiazioni infrarosse di origine solare. La scoperta di radiononde comuni ed, in particolare, di radiononde solari è invece ancora molto più recente ed è tutt'oggi. Le radiononde di origine solare che è possibile captare da osservazioni a terra, vanno da una lunghezza d'onda di qualche millimetro ad una lunghezza d'onda di qualche decina di metri.

Dalle caratteristiche assorbenti dell'atmosfera terrestre, non era possibile osservare da terra altre radiazioni elettromagnetiche di origine solare, tranne che in base di considerazioni teoriche e di osservazioni giudicate indirette, che il Sole doveva emettere anche radiazioni ultravioletti, infrarosse e terrestri, eccetera. Infatti, in tutto ciò che si è detto, solo le radiazioni elettromagnetiche di origine comune in cui lunghezza equivale ad una compresa fra 0,3 micron e qualche decina di micron e tra qualche millimetro e qualche decina di metri.

Il primo intervallo spettrale è quello che costituisce la cosiddetta «finestra» ottica, oggetto dell'astronomia ottica, mentre il secondo intervallo costituisce la «finestra» radio, oggetto della radioastronomia. L'assorbimento alle lunghezze d'onda inferiori a 0,3 micron è dovuto a trasformazioni di alcuni tipi di molecole; l'assorbimento nella zona compresa tra qualche decina di micron e qualche millimetro è dovuto invece a perturbazioni di altri tipi di molecole, mentre l'assorbimento oltre le onde metriche è dovuto alla presenza della ionosfera.

Con l'avvento delle tecniche spaziali (missilistiche e satellitiche) è avvenuta ogni possibile osservazione extratmosferica di quella parte dello spettro solare che, date le caratteristiche assorbenti dell'atmosfera terrestre, non poteva essere osservata da terra.

Lo spettro ultravioletto del Sole è stato osservato per la prima volta nel 1946 da un gruppo di ricercatori del Naval Research Laboratory statunitense per mezzo di uno spettrografo installato su un missile V-2 catturato ai tedeschi. Per mezzo di questa osservazione e di numerose altre successive, alcune delle quali recentissime, si è potuto appurare che, sino alla lunghezza d'onda di 0,14 micron, lo spettro solare conserva le caratteristiche che sono le sue lunghezze d'onda visibili; esso è costituito da uno spettro continuo sovrapposto da righe oscure di Fraunhofer. Al di sotto degli 0,14 micron sino a circa 0,06 micron, il spettro solare è costituito da un continuum di sottili righe in emissione.

Al di sotto dei 0,06 angstromi lo spettro solare comincia a presentare caratteristiche di variabilità. La sua intensità varia con la fase del ciclo di attività solare, che, come è noto, è circa undici anni sino ad un massimo e può subire anche variazioni di maggiore entità in occasione di particolari perturbazioni locali dell'atmosfera solare.

Lo spettro solare osservato durante i periodi di elevata attività si estende sino a lunghezze d'onda inferiori al decimo di angstrom.

Informazioni relative alla regione spettrale compresa tra l'infrarosso e le onde millimetriche ed alle regioni che si estende oltre i centimetri sino ad un fattore di 100 e può subire anche variazioni di maggiore entità in occasione di particolari perturbazioni locali dell'atmosfera solare.

Lo spettro solare osservato durante i periodi di elevata attività si estende sino a lunghezze d'onda inferiori al decimo di angstrom.

Informazioni relative alla regione spettrale compresa tra l'infrarosso e le onde millimetriche ed alle regioni che si estende oltre i centimetri sino ad un fattore di 100 e può subire anche variazioni di maggiore entità in occasione di particolari perturbazioni locali dell'atmosfera solare.



Lo spettro solare osservato durante i periodi di elevata attività si estende sino a lunghezze d'onda inferiori al decimo di angstrom.