

MARCO VERDECCHIA

Una plausibile teologia della fisica

Le leggi della Natura senza formule

SAGGI

Indice

- p. 9 Sintesi per il lettore impaziente
- 13 Capitolo 1
Introduzione
- 21 Capitolo 2
Perché la fisica è (sembra) così difficile?
- 59 Capitolo 3
Il primo principio della dinamica. “La condanna all’inerzia”
- 93 Capitolo 4
Il secondo principio della dinamica. “Gli effetti saranno linearmente proporzionali alle cause”
- 125 Capitolo 5
Il terzo principio della dinamica. “Della reciprocità delle azioni”

- p. 151 Capitolo 6
La conservazione dell'energia. "Solo a dio è consentito creare"
- 183 Capitolo 7
I corpi possono anche ruotare. "Ogni corpo abbia movimento proprio e relativo"
- 203 *Intermezzo e riassunto. I veri principi della fisica sono già finiti*
- 213 Capitolo 8
Semplice o complicato? Un po' di rigore nell'uso di questi termini
- 233 Capitolo 9
La fisica dei fluidi. "Come far volare un aereo con la conservazione dell'energia"
- 261 Capitolo 10
La termodinamica. "La mirabile conseguenza del gioco combinato di tante palline"
- 299 Capitolo 11
L'atmosfera del nostro pianeta. Esistono delle formule che descrivono il clima?
- 339 Capitolo 12
La prima forza: la gravitazione. "La creazione delle stelle"

- p. 371 Capitolo 13
Abbiamo dimenticato qualcosa? “La strana curva del tempo”
- 399 Capitolo 14
La seconda forza: il campo elettrico. “La creazione degli atomi”
- 437 Capitolo 15
Il campo magnetico e le equazioni di Maxwell. “La creazione della luce”
- 469 Epilogo. Qualcosa non funziona più
- 473 Bibliografia
- 477 Ringraziamenti e dedica

Sintesi per il lettore impaziente

Questo libro si propone di presentare le leggi fondamentali della fisica in una maniera insolita o, addirittura, eretica rispetto ai tradizionali testi universitari o divulgativi. Con spirito creativo (e un po' giocoso) ci accingiamo a intraprendere la difficile sfida di descrivere i fondamenti delle scienze fisiche senza utilizzare nessuna formula matematica, ma limitandoci a una formulazione unicamente concettuale e descrittiva delle leggi fondamentali che costituiscono la base essenziale su cui si fonda la nostra descrizione e comprensione dell'intero universo. L'ambizione di questo tentativo è conquistare un pubblico curioso che ha scarsa confidenza con il formalismo matematico o comunque "soffre" di una istintiva diffidenza nei confronti del sintetico simbolismo che viene tradizionalmente utilizzato dalle scienze razionali.

Nel secondo capitolo analizzeremo le ragioni che fanno sembrare la fisica una disciplina estremamente ostica e, in quanto tale, adatta solo a "cervelloni". Vedremo come l'origine di questa diffusa idiosincrasia sia motivata, in buona misura, da pregiudizi ovvero sia conseguenza dell'aver subito, magari in un'epoca ormai lontana, un approccio didattico inappropriato o maldestro. In questa analisi preliminare,

cercheremo anche di chiarire quale sia lo scopo e quale sia il campo di indagine di questa disciplina, evidenziando come, sovente, lo studente o il neofita che si avvicina con incerta curiosità alla materia non abbia ben chiare proprio le domande fondamentali che il fisico si pone di fronte all'osservazione della Natura, nonché il peculiare punto di vista con cui l'indagine delle leggi fisiche viene condotta.

Nei cinque capitoli successivi analizzeremo le leggi fondamentali della dinamica e i principi di conservazione. Al fine di avvicinare il lettore al fascino della fisica, adotteremo un approccio insolito; proveremo, cioè, a ipotizzare quali considerazioni avrebbero condotto un ipotetico creatore a stabilire le leggi dell'universo così come noi le osserviamo sperimentalmente. Utilizzando questa metafora, dovrebbe apparire chiaro, forse anche al più diffidente dei nostri lettori, che le leggi universali non solo non sono complicate come appaiono da una consultazione frettolosa dei manuali di fisica, ma esse sono le più semplici che si possano concepire e, da qualsiasi modifica di queste leggi, deriverebbe un mondo estremamente più complesso di quello che noi effettivamente osserviamo.

Nei capitoli successivi applicheremo le leggi studiate ad ambiti via via più complessi e mostreremo come i principi della dinamica siano sufficienti a descrivere il comportamento di tutta la materia e l'energia che riempiono il nostro universo. Vedremo quindi che anche l'evoluzione di un sistema estremamente complesso, ad esempio un gas formato da miliardi di miliardi di particelle, possa essere studiato in maniera efficace a partire dalla formulazione delle leggi di Newton e dei principi di conservazione.

Particolare attenzione viene dedicata a illustrare gradualmente il significato profondo di *complessità* e di *sempli-*

cità, la cui cattiva interpretazione è alla base di molti fraintendimenti in chi si avvicina allo studio delle scienze fisiche. L'errore fondamentale consiste sovente nel confondere la complessità che caratterizza un sistema, formato ad esempio da un gran numero di parti elementari, con la presunta difficoltà delle leggi che lo governano. L'ottavo capitolo "interrompe" idealmente l'enunciazione delle leggi fisiche per approfondire proprio questo aspetto.

L'universo è costruito o, se si vuole, è stato creato, con la più semplice architettura possibile, mentre la grande varietà di fenomeni che osserviamo origina dalla infinita possibilità di interazione tra le parti di materia di cui lo spazio è riempito. Chiarito questo concetto basilare, le leggi della Natura – e quindi i principi della fisica – appariranno inevitabilmente nella loro abbagliante bellezza, caratterizzata da eleganza, semplicità e affascinante ragionevolezza.

Capitolo 1

Introduzione

Se cercate in questo libro una prova dell'esistenza di Dio, rimarrete assai delusi e, ugualmente, se vi aspettate di legervi delle prove per confutare la presenza di un Essere Superiore, avete sbagliato testo.

Se, invece, vi interessano delle argomentazioni scientifiche per riflettere liberamente sulla suprema logica che governa l'intero universo in cui viviamo e cercate una vostra personale risposta alla eterna domanda circa l'esistenza di un Creatore, queste pagine potranno risultarvi utili.

C'è una canzone di Francesco Guccini, intitolata *La Genesi* in cui, con toni grotteschi, si narra della creazione dell'universo e poi dell'uomo. Dopo aver dato alla luce la prima versione del cosmo, il Creatore è infastidito dalle critiche irriverenti di Lucifero: «Guarda che roba, si vede che è vecchio, l'ha fatta tutta schiacciata sui poli». Alla fine Domineiddio sbotta con toni veementi verso la diabolica creatura: «Se c'è una cosa che non sopporto sono i criticoni: fattelo te l'universo se sei capace!».

Sulla scia del simpatico e talentuoso cantautore modenese, e senza voler essere per nulla irriverenti verso chi crede all'intervento di un Creatore come origine di tutte le cose,

potremmo immaginare che il polemico invito con cui, in quella canzone, il Creatore sfida Lucifero venga rivolto a ciascuno di noi: saremmo capaci, ovviamente non di creare, ma anche solo di immaginare un universo più semplice di quello dentro cui viviamo?

Nelle pagine di questo piccolo libro cercheremo di mostrare come le leggi della fisica, che sarebbe più opportuno chiamare leggi della Natura, non possono essere pensate in maniera più semplice; quindi non solo quelle leggi non sono *difficili*, come viene erroneamente percepito dallo studente o dal neofita, ma sono le più ragionevoli che si possano immaginare.

Nel descrivere e discutere le leggi naturali, mostreremo come tali principi sembra che siano stati ispirati, all'ipotetico Creatore dell'universo, da precise e stringenti necessità logiche ovvero dalla esigenza di "limitare", per così dire, il comportamento e il libero arbitrio non solo delle creature viventi, ma anche di ogni singola particella di materia inanimata. Qualunque deviazione dalle leggi fondamentali della dinamica avrebbe avuto conseguenze drammatiche sulla complessità del mondo che si presenta ai nostri occhi. Solitamente, chi si avvicina allo studio delle scienze fisiche percepisce molto presto l'errata sensazione di avere a che fare con una materia estremamente complessa o comunque troppo difficile per i suoi mezzi; il nostro tentativo sarà quello di convincere questa categoria di lettori "diffidenti" che la complessità non ha origine nelle leggi di Natura (il cui studio è scopo peculiare della fisica), bensì dalla infinita varietà di modi con cui la materia si compone e interagisce obbedendo a delle leggi fondamentali che sono, invece, sorprendentemente semplici.

Abbiamo sin qui usato gli aggettivi “semplice” e “complesso” con una accezione vicina al senso comune, vedremo meglio nell’ottavo capitolo come sia possibile, oltre che necessario, dare un senso più rigoroso a questi aggettivi.

Questo testo è adatto come lettura preliminare per chi si appresti a seguire un corso universitario di fisica generale, ma anche come approfondimento per gli studenti delle scuole superiori che vogliano guardare, da un altro punto di vista, una sintesi del corposo programma di fisica che viene svolto nella maggior parte delle istituti di istruzione secondaria. Nella speranza e nelle intenzioni dell’autore, le pagine che seguono sono inoltre indirizzate a tutti coloro che, avendo “sofferto” la fisica come materia scolastica o universitaria, abbiano la voglia, o la curiosità, di confrontarsi nuovamente con questa scienza senza l’assillo dell’esame e dei compiti scritti, e desiderino superare e vincere i consolidati fraintendimenti, o pregiudizi, che hanno determinato il loro cattivo rapporto con la materia.

Per gran parte del testo, ma soprattutto nel capitolo seguente, analizzeremo come la fisica presenti un iniziale ostacolo che risulta essere talvolta particolarmente critico: la difficoltà di intuire quale sia lo scopo essenziale della indagine scientifica condotta nell’ambito di questa disciplina. Molti libri di testo, pur eccellenti nel loro complesso, ignorano questa peculiare difficoltà e, nei primi capitoli, si limitano a introdurre gli strumenti teorici e matematici indispensabili – le unità di misura, l’analisi vettoriale, le equazioni della cinematica ecc. – senza aver preventivamente chiarito, con enfasi e spazio adeguati, quale sia il peculiare punto di vista con cui i fisici osservano l’universo. Questo libro è un tentativo di dare un modesto contributo a colmare

questa lacuna che, seppur piccola, rischia di spingere lo studente o il neofita verso una metodologia di studio sbagliata, inevitabilmente destinata a produrre scarsi risultati didattici pur con grandi sforzi. Non è necessario, certamente, riscrivere i manuali di fisica generale – ve ne sono di eccellenti – ma forse includere delle note introduttive, ispirate anche dalle riflessioni contenute in questo piccolo testo, potrebbe migliorare l'approccio didattico evitando a moltitudini di studenti di sviluppare una vera e propria idiosincrasia verso questa disciplina scientifica.

Nei capitoli che seguono daremo ripetutamente enfasi al fatto che i fenomeni naturali appaiono regolati da leggi semplici e universali; lo faremo molto spesso, con una frequenza che rischierà di apparire ridondante o, addirittura, ossessiva; la contemplazione della misteriosa eleganza delle leggi fondamentali della Natura sono una sorta di gioiosa ed eccitante ossessione da cui tutti i fisici sono “patologicamente” affetti, e questa loro fissazione li spinge istintivamente a rimarcare il concetto in ogni frangente in cui ciò sia possibile. Occorre subito avvertire che *semplicità* non va qui intesa come *banalità*; non intendiamo semplice come sinonimo di *ovvio*. Le leggi fondamentali della fisica nascondono quasi sempre delle ragioni profonde che, nella metafora didattica che adotteremo, hanno ispirato l'ipotetico creatore nel decretare l'architettura e la fisiologia dell'intero universo. Non appare pertanto saggio pretendere di leggere questo libro tutto di un fiato, ma ci sentiamo di raccomandare di sospendere sovente la lettura concedendosi l'agio di meditare adeguatamente i concetti e i principi che verranno via via esposti. Si tratta, sia pure in un contesto assai diverso, della stessa raccomandazione che ho ripetuto per tanti anni

ai miei studenti: non si può studiare la fisica con lo stesso approccio con cui si apprendono saperi organizzati secondo criteri sistematici o addirittura tassonomici; serve a poco, o in taluni casi è enormemente controproducente, imparare a memoria e rileggere decine di volte il testo o, addirittura, sottoporsi a esercitazioni lunghe ed estenuanti confrontandosi con decine di variegati esercizi. Studiare le leggi della Natura non è come studiare le leggi di un codice penale in cui il ponderoso numero di commi e di sentenze va necessariamente conosciuto con sistematico rigore; se un codice giuridico consta di parecchie centinaia di leggi, la Natura si limita a farne rispettare pochissime – noi le riassumeremo in “soli” sei capitoli e altrettanti finti brani biblici –, ma queste poche leggi nascondono un illuminato disegno architeturale che ha consentito il verificarsi delle infinite meraviglie che osserviamo in tutto il cosmo, quindi nel loro enunciato è implicita una affascinante saggezza, o “ragionevolezza” come la definiva Albert Einstein, e questa ponderata accortezza va colta gradualmente con un processo mentale che può essere, questo sì, lungo e difficoltoso.

Sembrerà un paradosso, almeno in questa fase della nostra esposizione, ma la fisica si apprende in maniera molto più efficiente durante una rilassante passeggiata che stando curvi alla scrivania sopra i ponderosi testi. Seduti al tavolo di studio si apprendono i principi basilari, e appunto, *semplici*, con cui ogni cosa si muove e si modifica. Ma la sottile bellezza di quelle leggi la si coglie solo se ci si concede il tempo necessario per riflettere su di esse per arrivare a percepirla adeguatamente la profondità e l'universalità.

La stessa raccomandazione che ho accuratamente esternato ai miei studenti per tanti anni la ripeto quindi anche

qui, con identica passione, ai miei lettori: non fatevi prendere dalla frenesia e dal desiderio di concludere il capitolo; chiudete spesso il libro tutte le volte che vi parrà necessario e fate una passeggiata, oppure alzate lo sguardo e lasciatevi affascinare dal fatto che tutto quel cielo immenso sopra di voi è regolato dalle tre leggi di Newton e dai principi di conservazione. In un piccolo numero di pagine che avrete letto è racchiusa una significativa percentuale del sapere che spiega l'evoluzione di tutto il firmamento.

Con la medesima chiarezza vogliamo anche premettere che nessuno dei capitoli o dei contenuti trattati di seguito risulterà proibitivo, a prescindere dal bagaglio culturale che un qualunque lettore possa aver accumulato prima di imbattersi nell'avventura intellettuale, spero non troppo sgradevole, offerta da questo libro. Il merito di tutto ciò non è da ascrivere al modesto autore; da parte mia ho "solo" fatto lo sforzo di trascrivere, in termini concettuali, quello che io e i miei colleghi siamo abituati a sintetizzare con il linguaggio simbolico della matematica; il lettore comprenderà che si tratta di una deformazione professionale molto consolidata, per cui tale sforzo non è stato, in molte circostanze, affatto irrilevante. Talvolta, trovandomi in difficoltà, sono stato colto da tentazioni diaboliche («Ma sì, questa formula qui, una sola, almeno questa ce la metto e mi tolgo da questo impiccio da cui non esco da giorni»); sono stato però sufficientemente costante e stoico da resistere alle seduzioni demoniache che mi avrebbero portato a infrangere la promessa fatta ai miei lettori e, quindi, nelle pagine seguenti non troverete nessuna formula, neanche una.

A parte questa capacità di non essere indotto alle succitate tentazioni, non credo di dover vantare particolari me-

riti per quello che concerne l'accessibilità di questo libro. Lo ripeto: la virtù non è mia, ma della Natura; non vi è, nel mondo in cui viviamo, nulla che sia contrario al buon senso e alla già menzionata ragionevolezza. Ogni contenuto che segue può essere compreso da chiunque purché animato, ovviamente, dal desiderio di avvicinarsi al fascino della Natura dentro cui siamo immersi.

Capitolo 15

Il campo magnetico e le equazioni di Maxwell

“La creazione della luce”

Stalker è un film del 1979, diretto dal grande cineasta russo Andrej Tarkovskij. Sebbene sia solitamente classificato dai critici cinematografici come un film di fantascienza, la pellicola sfugge a una precisa catalogazione di genere e lo si potrebbe definire come un affascinante viaggio nell'animo umano narrato attraverso la metafora di un fantascientifico percorso verso una misteriosa *zona*. In questo luogo palesemente metaforico, una imprecisata presenza extraterrestre ha stravolto le normali leggi fisiche; sembra quindi che la presenza degli alieni consenta il verificarsi di eventi prodigiosi sicché due uomini, di culture assai diverse, decidono di avvicinarsi alla località proibita. Ad avventurarsi in questo avvicinamento alla *zona*, infrangendo i severi divieti imposti dalle autorità, sono i due protagonisti della pellicola: un umanista e uno scienziato; nella sceneggiatura vengono indicati rispettivamente come *Scrittore* e *Professore* senza che venga mai specificato il loro nome. All'inizio del film e prima che i due intraprendano l'avventuroso viaggio, si svolge un breve dialogo tra lo scrittore e una giornalista che è anche lei tentata di seguire i due uomini nella pericolosa impresa. L'intellettuale appare malinconicamente scettico sulla pos-



Figura 15.1. *La luce del Sole impiega poco più di 8 minuti per arrivare a noi. Quando ammiriamo un tramonto, è come se stessi guardando l'aspetto mostrato dalla nostra stella circa 8 minuti prima. Più i nostri occhi (o i nostri telescopi) "zoomano" verso oggetti celesti sempre più distanti e più ci allontaniamo dal nostro presente per osservare un passato datato anche miliardi di anni. La volta celeste è composta dalla sovrapposizione di sfere distanti nello spazio ma anche nel tempo (fonte: foto di Maurizio Verdecchia).*

sibilità di assistere ai portentosi fenomeni paventati dalle insistenti voci della gente e della stampa, quindi esterna alla sua interlocutrice il suo disincantato punto di vista:

– “Mia cara il mondo è infinitamente noioso, perciò non possono esistere né la telepatia, né i fantasmi, né i dischi volanti. Niente di tutto questo. Il mondo è regolato da leggi ferree che lo rendono insopportabilmente noioso e queste leggi, ahimè, non vengono violate, non si lasciano violare. Non sperare nei dischi volanti sarebbe un fatto troppo interessante...”

– “E il triangolo delle Bermuda, non vorrà certo negare che esista?”

– “Lo nego certo. Non esiste nessun triangolo delle Bermuda. Esiste solo il triangolo ABC che è uguale al triangolo $A_1B_1C_1$; non avverte quale triste noia è racchiusa in queste affermazioni. Il Medioevo quello sì che era interessante, in ogni casa c'era uno spirito, in ogni chiesa un Dio. Gli uomini erano giovani, oggi un uomo su quattro è vecchio. Che noia mia cara, che immensa noia”.

Quando ascoltai per la prima volta questo breve dialogo, quasi quarant'anni fa, ne rimasi fortemente suggestionato non solo per l'intensa atmosfera che il regista è riuscito a creare intorno a quella conversazione, ma anche perché maturai il sospetto, destinato a consolidarsi nel corso degli anni, che il giudizio sulla scienza di quel personaggio fosse comune a una vasta maggioranza di persone. Come abbiamo fatto più volte nel corso di queste pagine, ci piacerebbe interrogare il nostro lettore su questo punto e invitarlo a fornire una risposta dopo le riflessioni che riterrà adeguate. Trovate davvero che la scienza che abbiamo sfiorato in queste pagine, pur utilizzando l'indispensabile leggerezza che la rendesse fruibile ai non specialisti, suscitò davvero tanto noia? È davvero fondata l'impressione secondo cui le leggi della Natura siano riconducibili a una serie di regole la cui inviolabilità rappresenta quasi una gabbia al nostro pensiero e ai nostri desideri di rimanere stupiti di fronte agli eventi naturali?

Epilogo

Qualcosa non funziona più

Nella prima parte di un romanzo intitolato *Memorie dal sottosuolo*, leggiamo una sorte di triste e tenebroso monologo in cui, a un certo punto, la voce narrante recita:

Sarà sufficiente svelare codeste leggi della natura, perché per l'innanzi l'uomo non debba più sentirsi responsabile delle proprie azioni e la vita gli divenga perciò straordinariamente facile. Tutte le azioni umane, per forza di cose, verranno allora computate in base a tali leggi, matematicamente, un po' come le tabelle dei logaritmi fino a 108000, e quindi riportate in un almanacco; o meglio ancora appariranno alcune benintenzionate edizioni, del tipo degli odierni lessici enciclopedici, e in esse si troverà tutto quanto calcolato ed indicato con una tale precisione, che al mondo non vi saranno più né azioni né avventure.

Fedor Mihàjljovic Dostoevskij scrisse questo romanzo nel 1864 e questa indicazione è importante perché nella storia della fisica c'è stato un momento, proprio sulla fine del XIX secolo, in cui la catastrofe filosofica paventata dal grande scrittore russo sembrava davvero avverarsi. In quei decenni,

forti delle conoscenze che in questo libro abbiamo cercato di riassumere, credevamo davvero di aver capito tutto. Ma non era così.

Uso la prima persona plurale perché comprendo bene quel senso di euforia e, quasi, di onnipotenza che deve aver colto i miei colleghi in quegli anni. Ovviamente non ero ancora nato ma, se ci fossi stato, non v'è dubbio che sarai stato anch'io vittima della medesima sindrome di sovra-ecitazione. Tutte le leggi che abbiamo trattato in questo piccolo manuale erano ormai già note e gli esperimenti, ormai consolidati, non lasciavano adito a dubbio alcuno sulla esattezza di quel codice universale che si ottiene mettendo insieme le leggi di Newton, la legge di gravitazione universale, le equazioni di Maxwell e poco altro. Se davvero, come si pensava, la struttura dell'atomo era pressoché identica a quella di un sistema solare, con degli elettroni leggeri che gravitano intorno a un nucleo pesante, non vi era quasi più nulla, in fatto di leggi fondamentali, da scoprire o indagare. Tutta la scienza sarebbe presto diventata un insieme di variegata applicazioni delle leggi universali che, da Galileo in poi, gli scienziati avevano scoperto e descritto in termini matematici.

Invece doveva accadere un fatto nuovo. Per la verità furono due i fatti inaspettati che fecero capire, a tutti noi che tanto ci eravamo esaltati, che restava ancora un lungo lavoro da fare. Il primo di questi fatti inattesi riguardò la misura della velocità della luce. Qualunque esperimento condotto con le più variegata tecniche, portava sempre a una unica osservazione finale: la luce viaggia sempre alla stessa velocità, poco meno di 300.000 chilometri ogni secondo. Apparentemente non c'è nulla di strano ma in effetti i risultati

erano assai imbarazzanti perché si otteneva lo stesso valore numerico a prescindere dal sistema di riferimento in cui si compiva l'osservazione.

Nel misurare la velocità della luce si ottiene sempre lo stesso risultato e spiegare il perché fu un vero rompicapo. Fortuna volle che proprio in quegli anni nacque Albert Einstein e, ancora giovanissimo, quello spirito bizzarro che mai indossava una cravatta e non ne voleva sapere di assumere atteggiamento sobrio e severo tipico di un vero scienziato, fu in grado di spiegare quel che noi abbiamo sintetizzato nel capitolo intitolato *Abbiamo dimenticato qualcosa?*. I fisici avevano, fino ad allora, dimenticato di riflettere adeguatamente sul significato di spazio e tempo. A raccontarla in termini un po' naïf, oltre che sintetici, la teoria della relatività fu, per la comunità scientifica, una sorta di schiaffo punitivo inferto a cattivi allievi che non avevano approfondito adeguatamente il significato di spazio e tempo, e avevano a lungo attribuito a quelle grandezze un significato troppo superficiale.

Assorbito quel "didattico" schiaffo, ci aspettava un altro drammatico evento. Quando la tecnologia cominciò a metterci a disposizione degli strumenti adeguati a indagare la natura delle particelle più elementari – quelle che abbiamo chiamato i "mattoni" con cui tutto l'universo è stato edificato – abbiamo cominciato ad accorgerci che questi corpi elementari si comportano in maniera inaspettata. Noi abbiamo descritto, non più tardi di poche pagine fa, che la luce è una onda elettromagnetica, ovvero un fenomeno ondulatorio che si propaga anche nel vuoto. Gli elettroni e le altre particelle, invece, si comportano come dei corpuscoli, ovvero delle palline molto piccole con proprietà meccaniche

del tutto simili ai corpi macroscopici con cui abbiamo a che fare nella nostra vita quotidiana. Prima degli anni '20 del secolo scorso, la “drammatica” realtà cominciò invece a emergere a ogni nuovo esperimento e si fece sempre più evidente man mano che gli apparati di sperimentazione divenivano più sofisticati: in alcune osservazioni, le particelle mostravano proprietà di tipo ondulatorio, mentre i quanti di energia elettromagnetica sembravano mostrare effetti di tipo meccanico come se la luce fosse fatta da corpuscoli e non solo da oscillazioni di campi come si era ormai dato per assodato. Inoltre le orbite atomiche sembravano distribuirsi secondo leggi geometriche di cui non si comprendevano le regole.

Ma questa, come scrivono certi scrittori nell'augurarsi segretamente di vivere abbastanza a lungo, è un'altra storia e, forse la racconteremo in un altro libro.

Per il momento: grazie di cuore per aver dedicato attenzione a questo.