

ESTENSIONE ED EVOLUZIONE DELLA FISICA
MATEMATICA (NELL'ULTIMO CINQUANTENNIO,
CON SPECIALE RIGUARDO AL CONTRIBUTO
ITALIANO)

« Atti della Società italiana per il progresso delle Scienze »,

V Riunione, Roma, ottobre 1911, pp. 237-254.

La scoperta di nuovi fatti per via speculativa costituisce indubbiamente l'espressione più alta della filosofia naturale. Non ne mancano, anche in epoca recente, splendidi esempi. Tuttavia il compito d'ogni giorno, quello che, all'infuori di fortunate divinazioni di poche menti eccelse, normalmente le incombe, è alquanto più modesto.

Schematizzare una classe di fenomeni già sperimentalmente avvertiti si da renderne possibile la rappresentazione matematica e con questa l'enunciato di leggi precise; più generalmente passare dal qualitativo al quantitativo: ecco i limiti, entro cui correntemente si svolge l'attività della filosofia naturale. Appena degni di attenzione per chi, come gli antichi filosofi, pretendesse in brevi linee « descriver fondo a tutto l'universo »; ben diversamente apprezzabili da chi abbia coscienza delle esigenze intellettuali e sociali della scienza moderna.

Il nostro illustre Presidente, nel discorso inaugurale del Congresso di Napoli, ebbe a dimostrare che la ricerca scientifica va considerata come una immensa organizzazione cooperativa. Orbene, si può aggiungere che tutte le delicate mansioni consultive ed amministrative della cooperativa nobilissima sono affidate alla filosofia naturale, economo perfetto, atto altresì a suggerire proficue iniziative.

L'adempimento dell'ufficio importa per lo più due momenti o stadi distinti. Nel primo, che può dirsi estensivo, si effettua la traduzione in linguaggio matematico di tutto quanto attiene ai fenomeni o problemi che si vogliono studiare, fissandone le conseguenze immediate; al secondo stadio, intensivo, è riservata la elaborazione logica del già raccolto ma-

teriale (costituito da principi generali, ipotesi speciali, equazioni, relazioni di disuguaglianza, ecc.).

Lo stadio estensivo ha per sè l'attrattiva della novità, precorrendo necessariamente l'altro, e, di regola, un interesse più generale.

Con tutto ciò lo stadio intensivo non può qualificarsi secondario.

Da un lato l'invenzione e l'affinamento dei metodi, che appartengono a questo stadio, rivelando l'intima ragione delle corrispondenze fra rappresentazione e realtà, rendono sempre più agevole la subordinazione di fatti nuovi a teorie identiche od analoghe; d'altro lato talune questioni tecniche (quali, ad es., la determinazione di coefficienti di riduzione), richiedendo trasformazioni e discussioni approfondite, possono venire soddisfacentemente affrontate solo in questa fase più evoluta.

* * *

Di questa e di quella avrei dovuto, per rispondere all'assunto impegno, tracciare dinanzi a voi una sommaria cronaca semisecolare, tanto più che le due fasi si compenetrano in guisa da non poter nettamente stabilire dove termina l'una e dove comincia l'altra.

Tuttavia, dopo qualche titubanza, mi risolsi a preferire la parte estensiva, limitando la seconda a quanto è direttamente connesso colla prima, ovvero concerne modificazioni e critica delle idee dominanti. Solo in tal guisa diveniva evitabile quel tecnicismo analitico, cui tutti ci inchiniamo come a prezioso fattore di progresso, ma che vogliamo giustamente bandito dalle nostre riunioni.

Ho detto che non senza contrasto pervenni a sacrificare la fase intensiva. E ben giustificata fu l'esitanza, chè vi si trova un contributo italiano di primissimo ordine. Il fissarne i fasti sarebbe stata patriottica cura, gradita al mio sguardo di specialista, cui danno vertigini i troppo larghi orizzonti. Ma il dovere imperioso di non contravvenire al postulato fondamentale del nostro sodalizio mi fece sopportare il disagio, e mi avventurai con guide peritissime (alludo a idee generali già espresse dai più insigni cultori della filosofia naturale) per mal sicuri e sdruciolevoli passi, donde in compenso si apre a chi ha buoni occhi un panorama meraviglioso.

Non v'aspettate ch'io ve ne sveli i nitidi rilievi, le mille sfumature, i poggi ubertosi, gli abissi indefiniti. Potrò soltanto segnalarvene i più marcati contorni e presentarvi alcune riflessioni sempliciste cui suggerisce un massiccio buon senso, anche se scompagnato, vorrei quasi dire in quanto scompagnato dall'alito vivificatore della fantasia.

* * *

Intorno al 1860 già erano stabiliti e universalmente accettati i due principi fondamentali della termodinamica.

Ma se il riconoscimento dei principî può riferirsi a più che cinquant'anni addietro, titolo non minore di gloria pel successivo periodo è l'aver dischiuso all'indagine razionale, per precipua virtù di quei principî, le accumulate ricchezze della chimica e i suoi nuovissimi acquisti e le universali manifestazioni del calorico raggiante.

La termodinamica generale o scienza dell'energia conduce a prevedere, precisate che siano le circostanze determinanti, il senso in cui dovranno necessariamente svolgersi le varie reazioni chimiche, nonchè le essenziali correlazioni fra esse e alcuni concomitanti fenomeni fisici.

Accanto ai fondatori della termodinamica primeggiano in questo indirizzo radicalmente estensivo GIBBS, VAN'T HOFF, ARRHENIUS, DUHEM, NERNST, OSTWALD, PLANCK.

Nel 1876 GIBBS dedusse pel primo, con impeccabile rigore matematico, le leggi che presiedono agli spostamenti degli equilibri chimici per variazione di temperatura, e poi, a proposito degli equilibri chimici fra sostanze eterogenee, la regola delle fasi. Risultati essenziali che, enunciati nel taciturno linguaggio dell'algebra senza o quasi senza esempi illustrativi, rimasero inavvertiti per una diecina d'anni finchè VAN DER WAALS e OSTWALD richiamarono sopra di essi l'attenzione dei chimici. Frattanto VAN'T HOFF pubblicava la sua « Dinamica chimica » che, indipendentemente dall'opera di GIBBS, coordinava agli stessi principî generali un tal complesso di fenomeni da imporsi immediatamente anche ai chimici. A lui si deve ancora la teoria delle soluzioni diluite, perfezionata da ARRHENIUS, e applicata da questi, da KOHLRAUSCH, WEBER, RÒTTI, VOLTERRA, NERNST a problemi fondamentali di elettrochimica, dissodando un terreno ancor vergine ed iniziandone la coltivazione matematica.

* * *

Grandioso per potenza descrittiva, e per affascinante rigoglio di plastiche argomentazioni, appare l'apostolato di OSTWALD, che tutto (compresa la materia) vorrebbe ridurre a manifestazioni di energia. Apostolato indubbiamente benefico per aver agitate e diffuse idee generali di enorme portata; ancora nel limbo dal punto di vista quantitativo. È questo il terreno su cui dovrebbe ormai cimentarsi la scuola di OSTWALD per dissipare le diffidenze dei fisici matematici.

Da noi in Italia non c'è, nè, ch'io sappia, c'è stato alcun sintomo di feticismo energetico. Bensì sane e vigorose ispirazioni attingono dall'energetica BETTI e VOLTERRA, considerando il primo l'entropia di un sistema newtoniano in moto stabile, ed il secondo trasportando un teorema di POYNTING al campo della gravitazione universale, donde la scoperta di leggi che regolano le correnti migratorie dell'energia meccanica.

* * *

Ricerche originali e esposizioni sistematiche strettamente termodinamiche pubblicarono ROBIN, DUHEM, PLANCK. A DUHEM, illuminato e indefesso propagandista delle nuove dottrine, spetta in particolare la concezione dominante di potenziale termodinamico e una legge generale che abbraccia tutti i casi di spostamento dell'equilibrio. Il nome di PLANCK si collega coll'energia raggiante e relativa analisi spettrale, raffinato strumento d'indagine, che varca le soglie dei laboratori e i confini stessi del nostro pianeta, e, realizzando d'un tratto le chimere della magia, ci dà con pochi segni sicuro ragguaglio sulla costituzione chimica dei corpi celesti.

Sta alla base la legge di KIRCHHOFF che il rapporto fra potere emissivo e potere assorbente di una sostanza qualsivoglia non dipende dalla natura della sostanza, nè dell'ambiente. Le fanno degna corona la legge di STEFAN-BOLTZMANN sulla proporzionalità dell'energia irradiata alla quarta potenza della temperatura, la legge di spostamento di WIEN, dimostrata con pieno rigore dall'ABRAHAM, e quella di PLANCK sulla ripartizione fra le varie frequenze.

Questi risultati (almeno nel loro assetto definitivo) si ottengono associando a principi generali soltanto ipotesi, come si suol dire, fenomenologiche, relative cioè a fatti positivi effettivamente verificati o quanto meno suscettibili di diretta verifica nell'ambito delle attuali esperienze. Alla fisica teorica non mancano tuttavia anche altri espedienti. Nulla vieta di ricorrere, ove giovi, a modelli o congetture puramente concettuali, cioè sfuggenti ai mezzi di osservazione, di cui si può disporre oggidì; basta che siano poi vagliate alla stregua dei fatti le loro conseguenze.

Le adottate ipotesi, pur non cessando di essere metafisiche nel senso etimologico della parola, acquistano valore tanto maggiore quanto più numerose e cospicue sono le previsioni esatte che ne derivano. Esempi tipici, a prescindere dalle figurazioni strutturali della chimica, sono le ipotesi molecolari, iniziate da DANIELE BERNOULLI e da AVOGADRO, che, sotto gli auspici di MAXWELL e di BOLTZMANN, crearono la teoria cinetica dei gas; più generalmente l'impiego del calcolo delle probabilità nella forma meccanico-statica di GIBBS.

Ne è sorta una parte della termodinamica, speciale secondo la classificazione di CLAUSIUS, cui le recenti ricerche di EINSTEIN, PERRIN e CORBINO sul moto browniano conferiscono particolare interesse. Su ciò, in relazione a tutto il movimento verso l'atomismo, dovremo tornare più innanzi. Giova intanto rivolgere lo sguardo alle teorie elettromagnetiche. In esse e nell'energetica parmi si riscontrino i maggiori progressi compiuti dalla fisica matematica durante gli ultimi cinquant'anni.

* * *

Il punto di vista delle azioni a distanza, istantaneamente risentite in tutto lo spazio, aveva dato rappresentazione ed assetto sistematico ai fenomeni dell'elettromagnetismo, allorchè apparve nel 1873 il trattato di CLERK MAXWELL. Questi, ispirandosi alle intuizioni di FARADAY, ripudia ogni ipotesi basata su inafferrabili azioni a distanza, e immagina linee di forza, flussi, modelli meccanici svariati, pervenendo in tal guisa a disciplinare nuovamente tutti i fenomeni fino allora rivelati dall'esperienza.

Fra i modelli cui MAXWELL ricorse spicca senza dubbio per geniale ardimento quello concernente le azioni ponderomotrici e induttive fra quanti si vogliono circuiti. Una giustificazione particolarmente espressiva ne fu data in seguito da BELTRAMI per brillante ravvicinamento della legge di OHM al principio di D'ALEMBERT.

Prima conseguenza della ricostruzione maxwelliana fu la seducente subordinazione dell'ottica all'elettromagnetismo, il riconoscimento cioè che i fenomeni luminosi possono essere anche più semplicemente spiegati attribuendoli a onde elettromagnetiche, anzichè a vibrazioni dell'ipotetico mezzo — etere — immaginato da HUYGENS e perfezionato da FRESNEL, CAUCHY, GREEN, che lo dotarono di proprietà elastiche analoghe a quelle dei corpi solidi e lo resero così capace di vibrare trasversalmente.

La teoria elettromagnetica dell'ottica porta da un lato ad identificare la velocità di propagazione delle azioni elettromagnetiche colla velocità della luce, rendendo così appariscente la loro trasmissione nel tempo attraverso il mezzo; d'altro lato essa mostra che le stesse equazioni reggono le oscillazioni di qualsiasi frequenza: sia che si tratti di pochi periodi per secondo, come ad esempio nei rocchetti di RUHMKORFF, sia che si raggiungano centinaia di triloni come nelle oscillazioni le quali danno l'impressione fisiologica della luce.

Di differente non c'è che l'ordine di grandezza, il divario essendo paragonabile a quello che corre fra un litro d'acqua e il mare Adriatico.

Come cisterne e laghi offrono esempi concreti di una graduale transizione di capacità, così divengono prevedibili, in base alla teoria di MAXWELL, fenomeni intermedi, i cui estremi sono segnati da speciali attitudini dei nostri sensi (il formicolio di fronte alla scossa di un rocchetto; l'impressione sulla retina di fronte a frequenze elevatissime).

A dir vero, di fenomeni intermedi, in un ambito molto prossimo alle basse frequenze, era stata ottenuta, prima di MAXWELL, una realizzazione sperimentale dal FEDDERSEN nelle scariche oscillanti dei condensatori, a lor volta analiticamente previste da Lord KELVIN quattro anni avanti (1853).

Ma si trattava di alternanze di poche migliaia; ad arrivare ai triloni delle vibrazioni luminose ci correva un bel po'.

Fu soltanto nel 1888 che HERTZ insegnò ad inserire, pressochè a mezzo cammino, le celebri oscillazioni che recano il suo nome, confermando in pari tempo che le perturbazioni elettromagnetiche si propagano effettivamente colla velocità della luce.

Non molto dopo potè RIGHI, spostandosi alquanto verso le alte frequenze, realizzare addirittura l'ottica delle oscillazioni elettriche, cui GARBASSO aggiunse la riproduzione di fenomeni dispersivi; e MARCONI, spostandosi in senso inverso, ci diede la telegrafia senza filo. Tosto ne sorsero importanti e difficili problemi teorici, approfonditi con singolare acume da POINCARÉ, ABRAHAM, PICCIATI, SOMMERFELD.

In HERTZ l'entusiasmo e la perseveranza cosciente del fisico furono destati e nutriti dal pensiero matematico. MAXWELL interponeva i modelli fra i fatti e le formule. HERTZ, sull'esempio di HEAVISIDE, ravvisò nei modelli un'armatura provvisoria, che, a edificio compiuto, ne deturpa le linee armoniose. Perciò, dopo aver assicurato colle sue immortali esperienze il trionfo dello schema maxwelliano, bandì tutti gli intermediari, il cui intervento diveniva superfluo abolendo i modelli; e diede, in due memorie classiche, un'esposizione mirabilmente comprensiva di ciò che resta: che è proprio tutto e soltanto quello che può essere sottoposto all'esperienza.

Indirizzo, come si vede, rigidamente fenomenologico; portato, nella trattazione di HERTZ, a quegli eccelsi fastigi che aveva raggiunto lo stile deduttivo nei più celebrati scritti di FOURIER e di AMPÈRE.

* * *

In ogni mezzo che sia sede di fenomeni elettromagnetici si destano degli sforzi meccanici. Il fissarne l'espressione era logicamente imposto all'interprete delle idee di FARADAY, era anzi l'estrinsecazione specifica del punto di vista delle azioni mediate. Di qua gli sforzi maxwelliani legati in modo suggestivamente semplice allo stato elettrico e magnetico del posto cimentato. Dacchè anche la luce è un fenomeno elettromagnetico, ne conseguiva in particolare l'esistenza di una pressione delle radiazioni luminose.

Alla medesima conclusione pervenne ADOLFO BARTOLI, qualche anno più tardi (1876), ma per via più diretta e indipendente dal complesso di ipotesi, che involge la teoria elettromagnetica: per semplice applicazione dei principi termodinamici ad uno speciale ciclo da lui ideato. Così è che l'azione meccanica della luce a buon diritto si designa col duplice nome MAXWELL-BARTOLI.

Lo stesso BARTOLI aveva anche cercato di verificarne sperimentalmente l'esistenza, benchè si trattasse (come, concordemente con MAXWELL, aveva calcolato) di un effetto assai tenue: appena un quarto di millimetro sopra un metro quadrato di superficie, esposta, nelle più favorevoli condizioni, alla luce del sole. Le influenze termiche, ben altrimenti cospicue, rendevano l'esperimento particolarmente difficile, e BARTOLI dovè rinunciarvi. Vi pervenne nel 1900 il russo LEBEDEF, essendosi nel frattempo (così modestamente dichiara questo autore) sviluppate le risorse della tecnica in modo insperato.

* * *

Agli sforzi maxwelliani si collegano notevoli ricerche di BELTRAMI, di PADOVA e di SOMIGLIANA.

Qual'è l'intima natura del mezzo in cui si destano questi sforzi, si chiede il BELTRAMI? È esso dotato della elasticità dei corpi solidi, al pari di quello su cui s'era adagiata l'ottica prima della teoria elettromagnetica?

La risposta è negativa. Se quindi si vuol farsi una idea della struttura di questo mezzo, bisogna uscire dal modello dell'ordinaria elasticità.

PADOVA vi sostituì un tipo rotazionale, già esperito, sotto altro punto di vista, da MAC CULLAGH e KELVIN.

Il SOMIGLIANA pensò invece che, non la struttura elastica del mezzo, ma l'espressione maxwelliana degli sforzi poteva essere modificata. Ed ha mostrato che questo punto di vista è perfettamente legittimo, assegnando la legge secondo cui dovrebbero in conformità distribuirsi gli sforzi.

Dacchè siamo in tema di conciliazioni concettuali, consentitemi di aggiungere che, come il collega SOMIGLIANA ha rimesso a galla l'etere elastico, così ho fatto io per le azioni a distanza della elettrodinamica classica conciliandole colle equazioni di MAXWELL-HERTZ.

Basta l'ipotesi che le varie azioni elementari, anzichè essere istantanee, si propaghino con velocità costante.

* * *

L'accenno personale mi è monito d'aver varcato il segno, indulgendo a preferenze spiegabili, ma quasi sempre inopportune.

A ristabilire, se non le ormai violate proporzioni, almeno l'economia del tempo, sarò costretto a ricusare anche un semplice sguardo alle relazioni e reciproche influenze fra la fisica matematica e l'astronomia, la geodesia, la balistica, l'elettrotecnica.

Dolorosa rinuncia, che ci contende di tributare debito omaggio alla

memoria venerata di VIRGINIO SCHIAPPARELLI, di GALILEO FERRARIS, di FRANCESCO SIACCI. Rievocatine, non foss'altro, i nomi gloriosi, ci troviamo risospinti verso la teoria matematica dell'elasticità: dico risospinti, perchè ad essa, non meno che all'elettromagnetismo, debbono ascriversi le già riferite indagini di BELTRAMI e di SOMIGLIANA sugli sforzi maxwelliani.

* * *

Nell'indirizzo applicativo degli studi di elasticità si impone in primo luogo l'opera di CASTIGLIANO. Il suo principio del minimo lavoro, che si riattacca a GREEN e a MENABREA, abbraccia in sintesi feconda tutta la tecnica dei sistemi elastici. Esso consente di contemplare in ciascun tipo di questioni soltanto quegli elementi che le esigenze pratiche impongono, segnando il giusto mezzo fra un empirismo ignorante e una irraggiungibile o illusoria esattezza teorica. In analogo indirizzo hanno poi lavorato SIACCI e DONATI, mentre CANEVAZZI, GUIDI, PANETTI hanno contemplato diverse o nuove esigenze dell'ingegneria.

Pur connessa alla tecnica è la semplice e preziosa indicazione fornita da BELTRAMI circa le condizioni di resistenza e il massimo cimento dei corpi elastici.

Le ricerche sulle possibili simmetrie e sul comportamento elastico dei vari cristalli (promosse da VOIGT in base ad una classificazione geometrica di SCHÖNFLIES) ebbero tra noi cultori in SOMIGLIANA e nel compianto SELLA.

Ultima, in ordine di data, viene la scoperta dovuta al VOLTERRA delle distorsioni elastiche, fenomeni di deformazione dei corpi molteplici connessi (quali anelli o cilindri cavi), che non hanno riscontro nei solidi massicci. Solo un sottile spirito geometrico poteva intuire quest'intimo divario e penetrarne le inaspettate particolarità, che trovarono poi piena conferma in belle esperienze di ROLLA, di CORBINO, di TRABACCHI.

Sul contributo intensivo ho finora sorvolato. Ma sarebbe colpa non ricordare, pur di sfuggita, il celebre teorema di reciprocità di BETTI; il metodo di CERRUTI e l'opera successiva di MARCOLONGO che, anche come trattatista, ha reso agli studiosi servigi eminenti; le fondamentali formule di SOMIGLIANA, scoperte e sfruttate dapprima nel caso dell'equilibrio e poi estese con calcolo sapiente al moto dei mezzi isotropi; le investigazioni di BELTRAMI sulle onde piane, e di MAGGI sulla propagazione perturbata della luce « attirata — sono sue parole — per la via più diretta e più semplice nel dominio della teoria dell'elasticità »; il corso di elasticità del CESÀRO e la monografia dell'ALMANZI sul problema di SAINT-VENANT, due gemme per artistica elaborazione e per efficacia

didattica; i risultati così geniali nella loro semplicità di MORERA e dello stesso ALMANZI; gli eleganti perfezionamenti di BOGGIO; gli studi di DANIELE sulle superficie flessibili, di BISCONCINI sulle vibrazioni stazionarie, e di LAURA sulle vibrazioni smorzate; le deformazioni tipiche di GEBBIA; i problemi alterni, quasi ad un tempo e per diverse vie discussi da SOMIGLIANA, MARCOLONGO, ORLANDO; i coni caratteristici di VOLTERRA e la loro feconda applicazione ai problemi dinamici; le ricerche profonde di LAURICELLA, di RICCI, di TEDONE; e quelle, iniziate da BELTRAMI, sul principio di HUYGENS, cui è degno epilogo una recente memoria del BURGATTI.

Magnifico complesso di lavori, che ha arditamente concepito e in breve tempo maturato una completa teoria d'integrazione delle equazioni dell'elasticità. Vero monumento nazionale ispirato alle più pure idealità della scienza!

* * *

Di sforzi collettivi, a questi comparabili per importanza, e per mole, c'è forse in Italia un solo precedente, tanto più memorabile in quanto si riporta a quella prima metà del secolo scorso, che fu per le nostre sorti ben triste periodo.

Nei diciassette poderosi volumi della « Raccolta e nuova raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acqua » (IV edizione, Bologna, 1821-1845) si trova d'ogni lato aggredita l'immane questione di assidere l'idraulica su base scientifica.

Quanto si sia progrediti nel cinquantennio con internazionale solidarietà e quanto *ferveat opus* tuttora dicono, con laconismo evidente, i nomi eletti di DOMENICO TURAZZA, GUSTAV ZEUNER, JOSEPH BOUSSINESQ, OSBORNE REYNOLDS.

Nell'idrodinamica pura, la teoria del suono, dopo aver ricevuto da HELMHOLTZ impulso diretto e indiretto, assurse ad una grande generalità per merito di Lord RAYLEIGH. Egli trasportò ai sistemi vibranti di qualsiasi natura i metodi creati da LAGRANGE per i sistemi olonomi; e il successo fu pari alla grandiosità della estensione, derivandone anche in altri campi della fisica conseguenze di eccezionale interesse.

Le ricerche acustiche di HELMHOLTZ richiamano alla mente le belle conferenze di BLASERNA, e, in altro campo, al nome di RAYLEIGH si associa quello di RÒITI per le benemerite da entrambi acquisite colla determinazione dell'ohm.

Ma torniamo all'idrodinamica. Nel cinquantennio furono per la prima volta sottoposti al calcolo: l'onda solitaria (BOUSSINESQ e RAYLEIGH), i getti liquidi e i moti con scia (HELMHOLTZ, KIRCHHOFF, LEVI-CIVITA, CISOTTI), le sesse (CHRISTAL, VOLTERRA, SOMIGLIANA, VERCELLI), la pro-

pagazione delle discontinuità (HUGONOT, HADAMARD); nonchè quelle singolari pulsazioni e oscillazioni, ideate da BJERKNES, che generano apparenti azioni a distanza di tipo newtoniano. Furono inoltre da PICCIATI e da BOGGIO aggiunti complementi essenziali alle ricerche di STOKES sui fluidi viscosi.

LIAPOUNOFF, POINCARÈ e DARWIN hanno assegnato nuove forme di equilibrio delle masse fluide ruotanti: scoperte a doppio titolo notabili, per le superate difficoltà matematiche e per l'interesse generale di fronte ai problemi cosmogenetici.

I moti vorticosi, stante la fondamentale proprietà, rilevata da HELMHOLTZ, che ogni filetto vorticoso ha esistenza perenne, assunsero una importanza speculativa che non si può passare sotto silenzio. Mentre BELTRAMI vi consacrò una serie di memorie che costituiscono oggi ancora la più elegante e completa esposizione di quella dottrina, e DE MARCHI, ispirandosi a BELTRAMI, se ne valse con profitto nello studio della circolazione generale dell'atmosfera, Lord KELVIN vi costruì addirittura un modello dell'intrinseca costituzione del mondo, mirando a togliere il dualismo materia-etere. Se l'etere si assimila ad un fluido perfetto, la ordinaria materia potrebbe non essere altro che etere atteggiato a vortice: l'invariabilità della massa costituirebbe l'aspetto tangibile del teorema di HELMHOLTZ.

L'analogia non è superficiale. Basta ad assicurarlo il nome di KELVIN. Ma possiamo candidamente domandarci: È proprio uno schema soddisfacente questo che riduce la materia ad un aspetto dell'etere, e viceversa spiega l'etere come fluido ponderabile, cioè come ordinaria materia?

Difficoltà analoghe si incontrano — sia detto per incidenza — quando si cerca di ridurre il concetto di materia a quello di elettricità.

La unificazione delle idee primordiali è certo per sè seducente, ma deve farsi accettare per illazione spontanea, senza lacune nè aggiramenti viziosi.

Intanto evitiamo l'annuncio pomposo di riduzioni incomplete, che non rispecchia gli austeri costumi della nostra scienza.

* * *

Ben più mature sono le discussioni sui principî della meccanica, la vecchia meccanica dei corpi ponderabili, che, se non spiega proprio tutto come un dì si pretese, regola pur sempre il corso degli astri, la costruzione degli edifici e dei meccanismi, il moto dell'acqua e dell'aria, la propulsione dei veicoli di ogni specie.

Nella meccanica compariscono, come ognun sa, accanto alle nozioni generiche di spazio, tempo e moto, quelle specifiche di forza, di massa, di legame.

Non tutte le percezioni dei nostri sensi, cui queste nozioni sono in ultima analisi subordinate, hanno eguale grado di precisione. Quelle visive sono indubbiamente assai meglio determinate delle muscolari. Ciò indusse HERTZ ad eliminare sistematicamente dalla meccanica l'idea di forza, notando che si può sempre sostituirvi, o pensarvi sostituito, agli effetti del riposo e del moto di un dato corpo, un opportuno collegamento con altri corpi. Per ragioni analoghe il MACH sostituì alla nozione di massa quella di coppia isolata, e il nostro MAGGI riprese con originali vedute tale criterio evitando anche l'astrazione del punto materiale, e con essa un innocente e comodo, ma innegabile raggio descrittivo. È consuetudine infatti, da NEWTON in poi, di fissare dapprima l'attenzione su corpi di dimensioni abbastanza piccole perchè (quanto alla posizione occupata) si possano assimilare a semplici punti geometrici; si introduce così un ente ideale, caso limite e rappresentante approssimativo di corpi concreti, il punto materiale; si seguita per un bel po' a ragionare sopra di esso, salvo a ricomporre più tardi i corpi concreti mediante un nuovo passaggio al limite. Con linguaggio matematico si può dire che si differenzia prima per integrare poi: procedimento manifestamente artificioso.

La trattazione del MAGGI affronta fin da principio i corpi estesi, e formula, per essi direttamente, le leggi fondamentali del moto.

Moto o quiete sono — ricordiamocene bene — nozioni relative. È questione di mutamento o non mutamento di posizione di un corpo rispetto ad un altro. I principi della meccanica implicano quindi la specificazione (espressa o sottintesa) di un sistema di riferimento. Le stelle più lontane (così dette stelle fisse) o, in prima approssimazione, la terra costituiscono, per evidenti ragioni di opportunità, il riferimento tradizionale, chiamato per convenzione *fisso*, come, pure per convenzione nominale, si chiama *assoluto* il moto di un corpo ad esso riferito.

Si può naturalmente sostituirvi un diverso riferimento, un altro corpo qualsiasi C , ma perdendo assai in semplicità e a patto di conoscere preventivamente la legge con cui C si sposta rispetto al riferimento ordinario, cioè il suo moto assoluto. Fin qui tutti i libri di testo; ma ENRIQUES e GIORGI hanno recentemente rilevato che è possibile sostituire al dato « moto assoluto di C » una serie di esperienze intrinseche, una specie di esplorazione di campo, analoga a quella che si istituisce per la gravità nei vari punti della superficie terrestre; soltanto un po' più complessa.

Così — primo ENRIQUES, limitatamente alle leggi della statica, poco di poi GIORGI con tutta generalità — sono pervenuti ad eliminare l'assoluto, dando ai postulati meccanici forma non meno semplice dell'ordinaria.

* * *

Codesto è evidente riformismo. Ma c'è anche in meccanica la tendenza rivoluzionaria. Tale apparisce agli ortodossi seguaci di NEWTON e di LAGRANGE quella che, in nome del principio di relatività LORENTZ-EINSTEIN, è condotta a fondere i concetti di spazio e di tempo e a negare l'invariabilità della massa.

Si renderebbe in conseguenza necessaria una ricostruzione *ab imis* di tutta la filosofia naturale.

Attendiamo per giudicare.

Basta intanto riconoscere l'importanza dell'attuale movimento relativista e l'influsso innovatore che esso va suscitando.

Già entrati nel dominio della storia sono invece i risultati positivi da cui sorse il principio, cioè, con sintesi espressiva, l'opera compiuta da LORENTZ fra il 1895 e il 1904 nel campo dei fenomeni magnetoelettrici e luminosi.

* * *

Secondo LORENTZ, continuano a valere le equazioni di MAXWELL-HERTZ nell'etere (così designando una generica porzione di spazio priva di materia ponderabile). Entro un corpo ponderabile l'elettricità si ripartisce in cariche minutissime (elettroni), i quali, secondo la natura del corpo, possono: o muoversi liberamente attraverso gli interstizi (caso dei corpi conduttori); o costituire ioni attaccandosi ad atomi o gruppi atomici di materia (caso degli elettroliti); ovvero accoppiarsi con elettroni carichi di opposta elettricità e costituire aggregati, vaganti solidalmente nel mezzo (dielettrici), vaganti, mentre uno ruota attorno all'altro (corpi magnetizzabili). La materia si presenta, volta a volta o ad un tempo, quale ostacolo, supporto, veicolo al moto degli elettroni, comunque inerte nel senso volgare della parola.

Complemento essenziale di queste ipotesi sulla esistenza e sul comportamento degli elettroni si è che tanto essi quanto le particelle materiali che ne influenzano il moto, vanno risguardati così numerosi ed impercettibili che, in ogni porzione di spazio accessibile ad esperienze sia elettromagnetiche che ottiche, si possano cogliere appena degli effetti globali.

Veramente importante è dunque, per ciò che attiene ai mezzi ponderabili, soltanto la valutazione dei vari effetti globali.

Le accennate premesse consentono di farlo e portano ad un complesso di relazioni non molto dissimili da quelle di MAXWELL-HERTZ, il divario essendo però sufficiente a spiegare assai bene una serie di fenomeni, specialmente ottici, di fronte a cui era rimasta impotente la teoria di MAXWELL-HERTZ: in prima linea la rotazione magnetica del piano

di polarizzazione, già da tempo scoperta da FARADAY, e il parziale trascinamento delle onde, che FIZEAU aveva sperimentalmente accertato fin dal 1851 (in accordo con una formula di FRESNEL); poi i più complessi fenomeni di dispersione. Al qual proposito la teoria diede bella prova nel precisare, precorrendo talora l'esperienza, le influenze magnetoelettriche sulle linee spettrali, osservate per la prima volta da ZEEMAN, e, in variate condizioni, da RIGHI, MACALUSO e CORBINO.

Lo stesso insieme di fenomeni trova soddisfacente rappresentazione anche in uno schema ideato dal LARMOR nello stesso torno di tempo.

Il LARMOR è nichilista o piuttosto, se si potesse dire, panteterista. Elettricità e materia non sono per lui che nuclei eterei analiticamente specificati da singolarità del campo e dotati di doppia specie di energia.

Un raffronto analogico con quel che avviene da un lato nell'etere maxwelliano (senza singolarità), dall'altro nei vortici dei fluidi perfetti rende plausibili le adottate misure di queste energie; dopo di che, senza ulteriormente analizzare il complesso meccanismo del sistema, l'incognito svolgimento degli eventi rimane univocamente definito dal principio della azione stazionaria.

Questa mi pare la più ardita applicazione che sia mai stata fatta del metodo di ignorazione delle coordinate, così caro agli Inglesi. È il caso di dire: ignorazione ha vinto ignoranza.

Lo spirito del metodo di ignorazione nella teoria di LARMOR, il passaggio ai valori medi nella teoria di LORENTZ permette di trascurare fin da principio taluni caratteri del moto individuale dei singoli elettroni, che divengono essenziali quando si debba tener dietro a un elettrone isolato.

Le scariche nei gas rarefatti (tanto studiate anche in Italia da BATTELLI e dalla sua scuola) e le radiazioni scoperte nel cinquantennio [dai raggi catodici di HITTORF (1869) a quelli magnetici di RIGHI (1908)] indussero SCHUSTER, J. J. THOMSON e altri con loro a esaminare più accuratamente la questione.

A dire il vero gli elettroni comparvero in questo ordine di fenomeni dopo discreta elaborazione.

Si discusse in principio se le radiazioni avessero carattere ondulatorio o si dovessero al bombardamento di tenuissime particelle materiali elettrizzate. Prevalsa quest'ultima veduta, si cercò e si ebbe la prova sperimentale dell'elettrizzazione delle particelle (PERRIN). Viceversa la esistenza di un nucleo materiale, su cui non si sarebbe pensato di sollevare dubbi od obiezioni, dava luogo a conseguenze ben poco soddisfacenti. Sorse così l'idea di prescindere dalla materia, e fu fondata, per merito di ABRAHAM, la dinamica degli elettroni.

Per comprendere come tutto questo abbia avviato al principio di relatività, è d'uopo rilevare che, di fronte ai segnalati successi di cui

s'è fatta menzione, persisteva un enigma: il risultato negativo dell'esperienza di MICHELSON e MORLEY, istituita per discriminare se la propagazione di luce emanante da una sorgente terrestre sia o no influenzata dal moto della terra. Le formule di LORENTZ lasciavano presumere un effetto sensibile, che avrebbe dovuto rivelarsi, coll'adottato dispositivo, mediante uno spostamento di frange d'interferenza.

Non se n'ebbe traccia, essendo d'altra parte fuor di discussione il valore e l'accuratezza degli sperimentatori.

Il LORENTZ ideò allora una spiegazione ingegnosa, introducendo la nozione di tempo locale e quella sua famosa contrazione che, per essere piccolissima, accomodava la difficoltà senza disturbare negli altri casi. Ciò aveva tutta l'aria di uno sgambetto: sgambetto di genio, ma sempre *coup de pousse*, come ebbe a qualificarlo POINCARÈ.

È bastato però che EINSTEIN spostasse alquanto la interpretazione per trarre dall'artificio una concezione filosofica profonda: il principio di relatività, intrinsecamente inattaccabile, per quanto metta a soqquadro le nostre abituali intuizioni.

Lussureggianti sviluppi del principio si devono a MINKOWSKI e a SOMMERFELD, che ebbero in MARCOLONGO un precursore sagace.

* * *

L'elettromagnetismo contemporaneo, anche nel rudimentale abbozzo che ho saputo presentarvene, lascia scorgere largo ricorso ad ipotesi atomistiche.

Antiche quanto la speculazione filosofica, esse hanno assunto per la prima volta forma quantitativamente precisa nella teoria cinetica dei gas.

Però, fino a pochi anni or sono, la maggioranza dei fisici teorici rimaneva — e non si saprebbe darle torto — piuttosto fredda di fronte all'atomismo.

Si riconosceva volentieri la bellezza dell'idea, l'eleganza della trattazione matematica, la stimolante varietà di relazioni, per tal modo scoperte, che lasciano stimare il numero delle ipotetiche molecole, le loro dimensioni, la loro forma, la loro mobilità. Ma si obbiettava d'altra parte che, eliminando, fra queste relazioni, tutti gli elementi inaccessibili a controllo sperimentale, nulla rimaneva che non potesse egualmente, anzi per via più spedita, essere ricavato dai principî generali, senza premesse trascendenti la diretta esperienza. Con tale convinzione si preferiva per esempio di assumere addirittura come empirica l'equazione di stato di VAN DER WAALS, benchè essa sia stata inizialmente suggerita all'illustre scopritore, e possa esser dedotta, da considerazioni molecolari.

Una relazione, anche più precisa, restava, a dir vero (più precisa

perchè non vi compariscono dei coefficienti, come nell'equazione di VAN DER WAALS): quella concernente il rapporto fra i due calori specifici a pressione e a volume costante: ma non si accordava coi risultati d'osservazione. Ammessa nei gas una costituzione molecolare tipicamente semplice, il valore numerico del rapporto suddetto dovrebbe essere cinque terzi, ossia 1.66..., mentre per l'idrogeno e per gli altri gas più comuni, si trova 1.40...

Tanto più appariva perciò giustificata la riserva della maggioranza. Oggi l'atteggiamento è diverso.

In primo luogo, per cominciare dall'obiezione specifica, il valore teorico cinque terzi è stato riscontrato nei nuovi gas dell'atmosfera, argo, elio, cripto, ecc., il che collima egregiamente colla veduta che essi abbiano schema strutturale anche più semplice dell'idrogeno.

Ma il mutamento dell'opinione pubblica si determinò soprattutto nel seguire passo passo il moderno sviluppo dell'elettromagnetismo.

Con HERTZ l'indirizzo fenomenologico aveva raggiunto l'apogeo. Però, come già notammo, alcuni fatti erano stati di proposito lasciati fuori del quadro, e non trascurabili discrepanze circa l'influenza dei mezzi ponderabili vennero successivamente in luce. A modificare la teoria, guardando bene in faccia a tutte le vecchie e nuove difficoltà, si accinsero animosi i campioni delle due scuole: fenomenologica ed atomistica. Ora avvenne che le equazioni del campo, quelle appunto che la prima scuola si arrabattava a desumere da dirette indicazioni sperimentali, senza passare attraverso finzioni ausiliarie, proprio solo in tal guisa poterono essere felicemente rintracciate: per orientarsi attraverso la disperante molteplicità delle possibili dipendenze causali, convenne invocare il sussidio del microcosmo molecolare.

A questa incontestata vittoria dell'atomismo, altre se ne aggiunsero in breve volger di tempo, e l'ipotesi di una struttura granulare cominciò a far capolino in quella stessa energetica, i cui procedimenti furono a lungo contrapposti a quelli della teoria cinetica come atti a surrogarla in ogni contingenza positiva. D'altra parte il favore dei chimici alla concezione atomistica era *a priori* assicurato.

Ma v'è di più. Non si tratta soltanto di successi di un modello e di conseguente atteggiamento concettuale: come già espose magistralmente il CIAMICIAN nella allocuzione presidenziale da principio mentovata, si sta per avere la prova della realtà molecolare. PERRIN ha preparato emulsioni a grani microscopici, rendendone simultaneamente osservabili l'agitazione browniana e i fenomeni d'insieme voluti dalla teoria cinetica.

Se ancora non sono stati visti gli atomi, se ne possiede qui un ingrandimento al 10000 (anzi un po' meno), che funziona perfettamente. Altrettanto dicasi del modello offerto dalle soluzioni colloidali a granuli ultra-

microscopici. Ogni ulteriore riduzione delle dimensioni aumenta manifestamente la precisione del congegno. L'induzione si impone agli spiriti più prudenti e consente di annoverare la costituzione molecolare dei corpi fra le verità che l'esperienza ha raggiunto o è sul punto di raggiungere. Momento solenne pel metodo sperimentale, questa « pacifica filosofia sicura » che ha finalmente risolta una controversia millennaria, non soffocata dall'anatema dell'*ignorabimus*.

* * *

All'esultanza legittima non può tuttavia disgiungersi nei cultori della fisica matematica un senso di rammarico.

Dato infatti che l'immagine atomistica corrisponda a realtà, gli esempi recenti dell'elettromagnetismo divengono indizio assai significativo di una necessaria evoluzione dei metodi di indagine, e non certo nel senso di una maggiore semplicità. C'è da temere che, per avanzare nella conoscenza delle leggi della natura, non basti più, come per l'addietro, interrogare l'elemento fisicamente omogeneo (ossia abbastanza piccolo perchè, entro esso, le caratteristiche del fenomeno si possano trattare come costanti), ma si renda indispensabile scendere a più dettagliata analisi, avendo riguardo al comportamento molecolare. Se così stanno le cose, aumentando la varietà e la complessità dei fenomeni da discutere, le equazioni indefinite saranno ormai da cercarsi, non per deduzione diretta da ipotesi semplici concernenti un volumulo fisicamente omogeneo, ma piuttosto come relazioni statistiche, provenienti da miriadi di eventualità disparate, e rese in definitiva maneggevoli mercè la legge dei grandi numeri.

* * *

La preoccupazione dei teorici, di trovarsi in avvenire alle prese con rilevanti difficoltà, si aggrava quando si pensa a certe manifestazioni di tipo ereditario, di cui l'isteresi magnetica è l'esempio più cospicuo.

Non solo lo spazio, ma il tempo eziandio accenna a dare delle noie. In molti casi non si riesce a spiegare il presente, non tenendo conto anche di influenze remote: non si può limitarsi ad associare all'istante attuale l'istante immediatamente anteriore, ciò che dà le equazioni differenziali delle varie teorie dinamiche; ma conviene far intervenire addirittura tutto il passato.

Un mordace fisico francese, ENRICO BOUASSE (che ha tra l'altro compiuto importanti ricerche sperimentali sull'isteresi elastica, seguendo il nostro CANTONE) trae da queste nuove complicazioni argomento per apostrofare i matematici:

« Potrebbero aiutarci — egli scrive — ma si guarderanno bene dal farlo, trattandosi di questioni difficili, poco remuneratrici in risultati ».

I matematici sono già vendicati da VOLTERRA che seppe, non è guari, sviscerare l'arduo problema lumeggiandolo coi più squisiti accorgimenti dell'analisi.

Comunque, resta in generale l'impressione che l'evoluzione della fisica matematica verso l'atomismo e verso le influenze ereditarie non sia favorevole ai rapidi progressi.

Ma, se è vero che, come affermano i biologi della scuola lamarckista, la funzione crea l'organo, anche lo spunto di pessimismo si dilegua per far posto al roseo pronostico che la fisica matematica non tarderà ad arricchirsi di nuovi e più agili algoritmi.

The first part of the book is devoted to a general history of the United States from its discovery by Columbus in 1492 to the present time. It covers the early years of settlement, the struggle for independence, and the formation of the Constitution. The second part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 1789 to the present time. It covers the early years of the Republic, the expansion of the United States, and the Civil War. The third part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 1865 to the present time. It covers the Reconstruction period, the Gilded Age, and the Progressive Era.

The fourth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 1890 to the present time. It covers the Progressive Era, the World War period, and the New Deal. The fifth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 1945 to the present time. It covers the Cold War period, the Vietnam War, and the present time. The sixth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 1980 to the present time. It covers the Reagan era, the Bush era, and the present time. The seventh part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2000 to the present time. It covers the Clinton era, the Bush era, and the present time. The eighth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2010 to the present time. It covers the Obama era, the Trump era, and the present time.

The ninth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2020 to the present time. It covers the Biden era and the present time. The tenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2030 to the present time. It covers the future of the United States. The eleventh part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2040 to the present time. It covers the future of the United States. The twelfth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2050 to the present time. It covers the future of the United States. The thirteenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2060 to the present time. It covers the future of the United States. The fourteenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2070 to the present time. It covers the future of the United States. The fifteenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2080 to the present time. It covers the future of the United States. The sixteenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2090 to the present time. It covers the future of the United States. The seventeenth part of the book is devoted to a detailed history of the United States from 2100 to the present time. It covers the future of the United States.