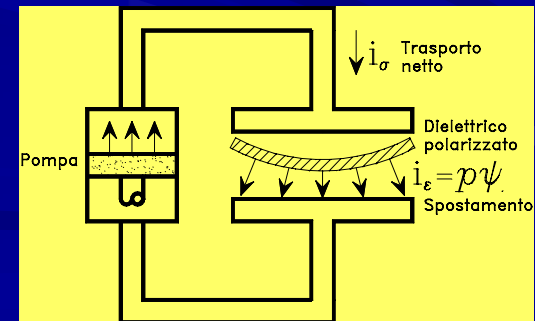


L'atto di nascita del
Programma Maxwelliano di
Ricerca del Campo
Elettromagnetico
è documentato da uno
spunto sorprendentemente
arido...



Scrivendo a proposito delle linee di forza di Faraday, il fisico scozzese esordisce affermando infatti che:

«le scienze matematiche sono basate su relazioni tra leggi fisiche e leggi tra numeri [e che di conseguenza] lo scopo di una scienza esatta è quello di ridurre i problemi della natura alla determinazione di quantità mediante operazioni con numeri».

Gli aspetti erano due.

Ed in entrambi JCM avrà un ruolo
dominante...

All'inizio della seconda metà del diciannovesimo secolo l'acquisizione scientifica dei fenomeni elettromagnetici, testimoniata dall'opera faradiana, pur ampiamente innovativa nelle sue premesse metodologiche, non poteva dirsi, di fatto, soddisfacente.

Tutto ciò, oltre a tradursi comunque nel mancato sviluppo di una teoria coerente dell'Elettromagnetismo, aveva riflessi tangibili e diretti sul piano industriale. In tale ambito, infatti, l'estensione di tale classe di fenomeni alle nuove tecniche produttive veniva scontrandosi con varie difficoltà, sia di ordine pratico che didattico.

Le prime derivavano dall'esigenza di dare risposte scientifiche e non empiriche che, puntando ad una rivoluzione rapida dei metodi di ricerca, sapessero tradursi in un immediato adeguamento delle conoscenze alle mutate istanze della produzione.

Quanto alle seconde, esse erano riconducibili alla sempre più sentita necessità di formare nuovi quadri tecnici in grado di sostenere lo sviluppo tecnologico in atto.

La teoria di Faraday, comportando il totale abbandono dell'approccio newtoniano dell'azione a distanza a favore di quello per contatto, rappresentava una svolta cruciale nel modo di concepire i fenomeni.

Non per questo, come si è visto, essa andava esente da critiche. I non pochi avversari del fisico inglese la giudicavano infatti, quale risultato della sua «metafisica ostinazione alle linee di forza», oltre che ingenua e confusa, un'idealizzazione inessenziale, e comunque arbitraria, di quanto comunemente già accadeva con l'usuale esperienza della limatura di ferro.

Tali concezioni apparivano inoltre puramente descrittive e non esplicative, per cui, rispetto all'auspicata calcolabilità dei fenomeni, esse andavano giudicate del tutto inadeguate.

Del resto, lo stesso Faraday, del tutto digiuno di tali nozioni, non era stato capace di comunicare coi fisici matematici stessi. Né questi erano sufficientemente intelligenti da accettare con la dovuta umiltà di partire proprio dai suoi preziosi “risultati”.

Maxwell si era invece facilmente reso conto dell'importanza del contributo faradiano.

Al punto tale da considerare quasi come una sua specifica missione la matematizzazione del suo pensiero.

Osserverà infatti che:

«La congettura di un filosofo con rapporti così stretti e familiari con la natura può essere più significativa della legge ricavata da indagini empiriche e confermata sperimentalmente. Sebbene non siamo obbligati a considerarla una realtà fisica, possiamo però considerarla una nuova idea che i nostri mezzi matematici potranno rendere più chiara».

Maxwell “matematizzò” dunque
Faraday

Fu solo questo il suo
contributo
all'Elettromagnetismo?

*J.C.M, con il suo ingegno da fisico
matematico e con la sua formazione da
filosofo della scienza, fu l'uomo giusto al
posto giusto per scientifizzare la teoria
elettromagnetica .*

*«La fisica - egli diceva - deve dirigere la
sua rotta tra Scilla, l'astratto, e Cariddi, il
concreto...».*

Fu grande merito di Maxwell, e della sua autonomia ed indipendenza di giudizio, quello di capire come entrambe le parti avessero ragione.

In questo senso la sua sintesi matematica derivò dalla sua capacità di vedere, anche se espresso con simboli allora non usuali, il substrato matematico, sfuggito agli altri, che era proprio del pensiero faradiano.

In un certo senso fu la particolare astuzia-qualcuno parlò al riguardo di “astuzia scozzese”- del suo ingegno, ad un tempo razionale ed abile, che fece di Maxwell l'uomo giusto al posto giusto per cogliere questa occasione.

Si trattò in ogni caso di
un'operazione non certo indolore,
perché essa comportò la
drastica riduzione dell'ambizioso
disegno originale del fisico inglese.

Pena il giungere altrimenti a
conseguenze concettualmente
incomprensibili, Maxwell seppe infatti
mostrare l'inattuabilità, per la scienza
ottocentesca, di una trattazione formale
unificante l'elettromagnetismo e la gravità.

Secondo Maxwell, nell'ottica di una rielaborazione della teoria dell' Elettromagnetismo, occorre per prima cosa favorire in tutti i modi possibili l'accoglimento del pensiero faradiano.

Per far questo, date le critiche che gli venivano mosse, risultava innanzitutto indispensabile una profonda ristrutturazione preliminare delle conoscenze disponibili che, pur restando volutamente nei margini di una particolare semplicità, fosse tuttavia in grado di conferire alla lettura campistica il necessario *status* scientifico. Solo in tal modo, infatti, la teoria del fisico inglese sarebbe risultata rigorosa. E dunque, in quanto tale, inattaccabile sul piano metodologico.

Tale strategia implicava, almeno in una prima fase, la consapevole rinuncia ad una teoria globale.

Un simile obiettivo, infatti, avrebbe dovuto necessariamente basarsi su esplicite congetture sulla natura fisica dell'elettricità e del magnetismo.

E queste, almeno al momento attuale, risultavano del tutto premature ed opinabili.

Nel contempo, ampio spazio andava invece riservato ai ragionamenti puramente matematici.

Proprio questi, infatti, crescendo ad un conveniente livello di generalità e di precisione, potevano essere in grado di condurre ad una trattazione ridotta e semplificata, ma tuttavia inattaccabile, da cui prendere l'avvio per successive ulteriori indagini.

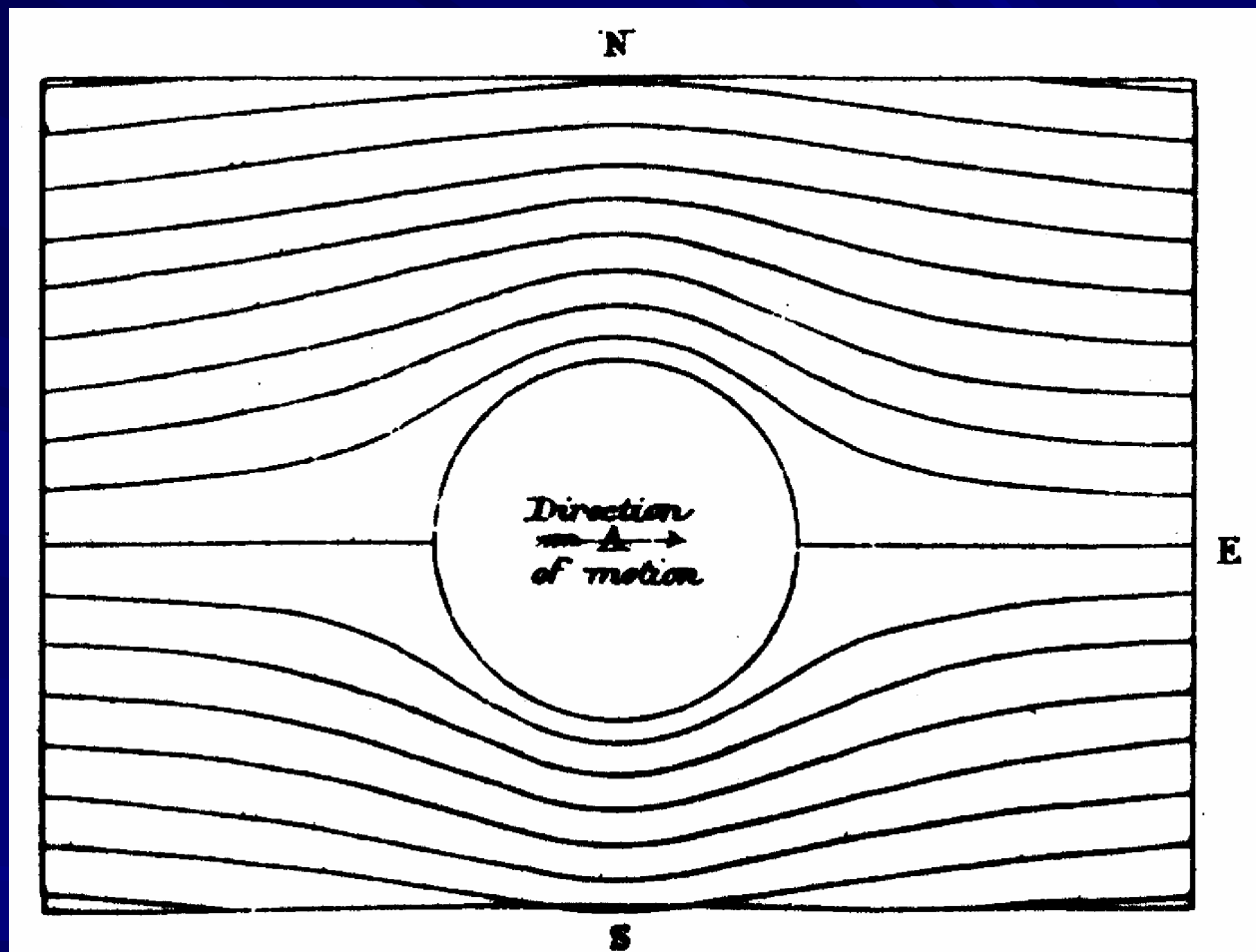
L'attuazione di una simile strategia dipendeva dall'esistenza e dalla messa a punto di un adatto strumento concettuale di indagine.

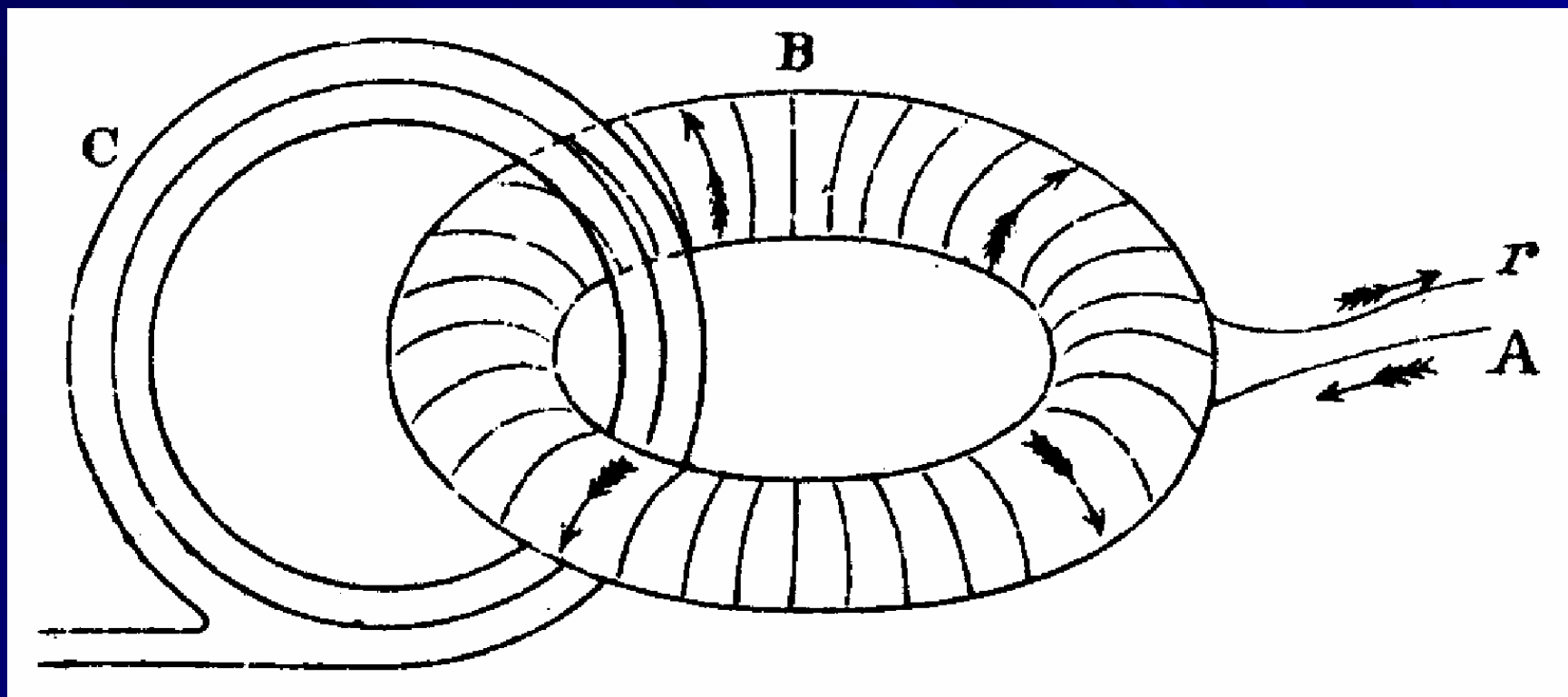
E questo, pur provvisorio, non poteva certo essere di tipo usuale. Occorreva infatti che esso consentisse di sviluppare ragionamenti matematici in modo del tutto separato dalle implicazioni fisiche.

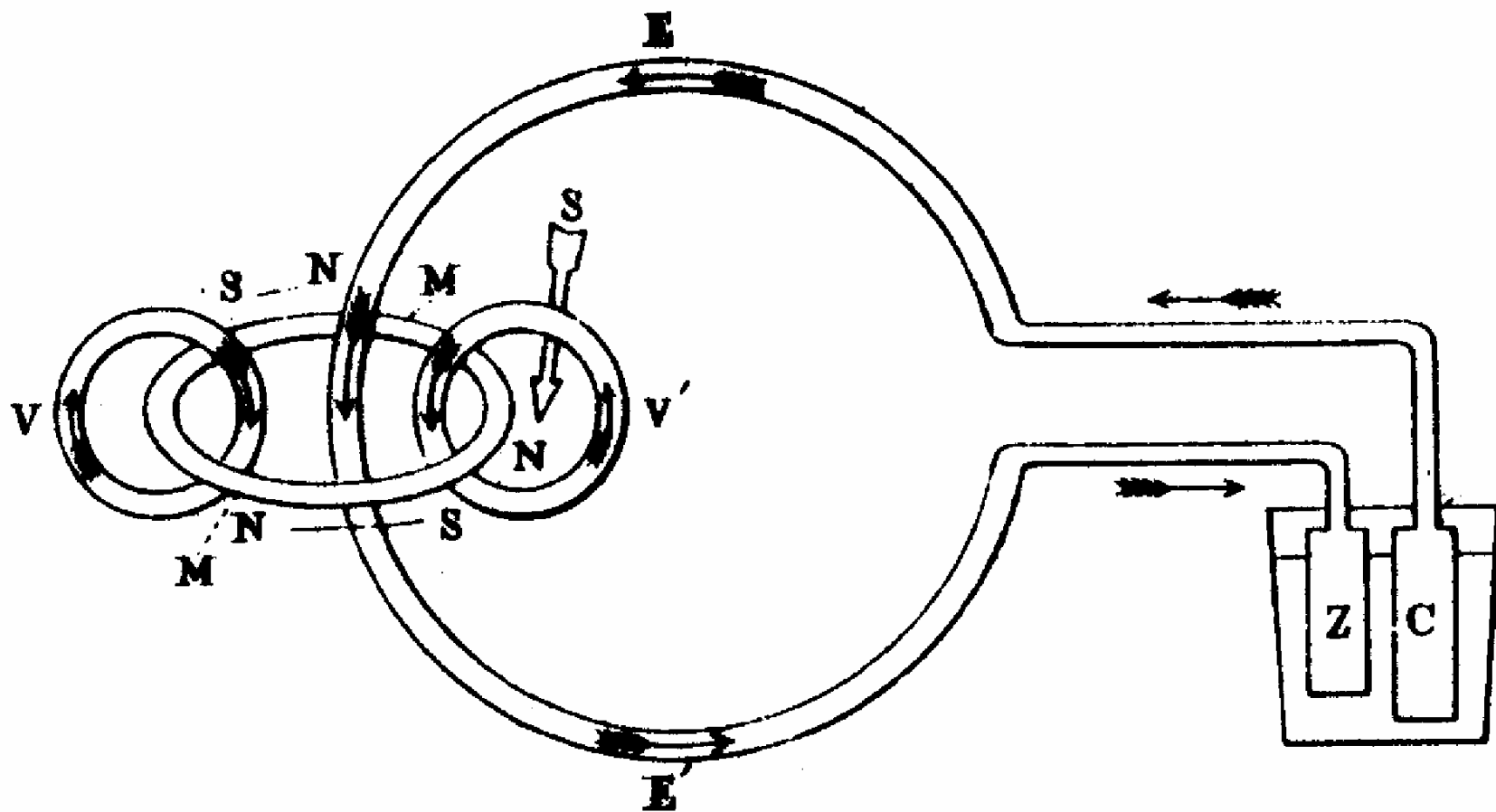
Che permettesse cioè,
con Maxwell stesso,
di «ottenere idee fisiche senza
adottare alcuna teoria fisica».

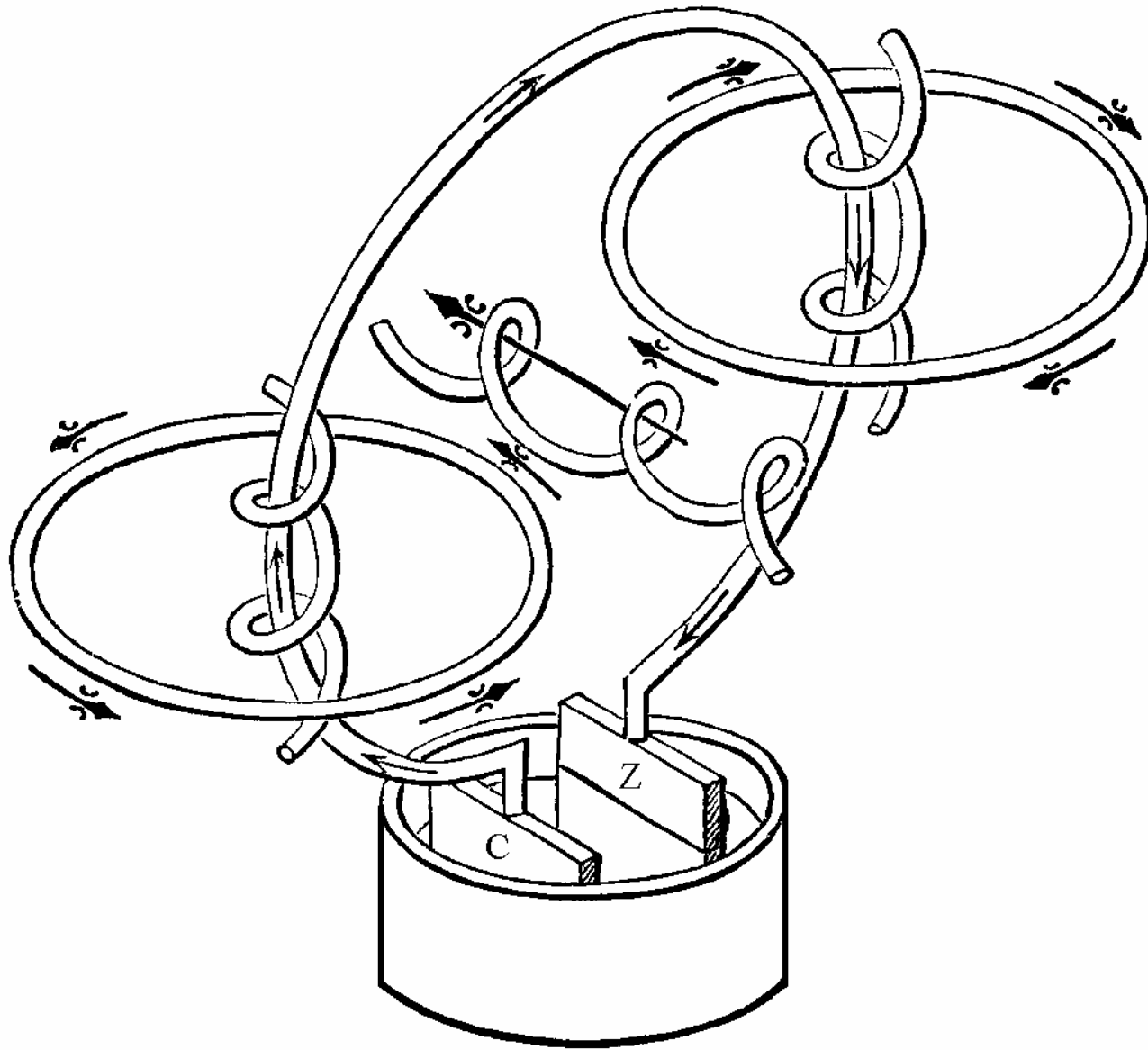
Il venticinquenne fisico scozzese ravvisò il mezzo risolutivo nella proprietà euristica dell'analogia, cioè in quella che egli stesso definì una «forma di somiglianza parziale tra le leggi di un gruppo di fenomeni e quelle di un altro».

Per servirsene, facendo appello, con Stokes e Kelvin, alle potenzialità dell'approccio idrodinamico, egli stabilì preventivamente una corrispondenza tra l'insieme delle linee di forza faradiane ed una riunione di tubicini percorsi da un fluido incompressibile opportuno.









- Riempiendo l'intero spazio con un'opportuna rete di linee curve, sarebbe stato possibile ricavare un modello puramente geometrico del fenomeno fisico.
- Così concepito, essendo in grado di rappresentare localmente solo la direzione dei vettori, non già la loro ampiezza, esso sarebbe risultato però ancora insufficiente.
- Da qui la necessità di completare la rappresentazione sostituendo le linee orientate con tubi a sezione variabile nei quali, tra sorgenti e pozzi adeguatamente distribuiti, scorresse un fluido incompressibile opportuno.
- In tal modo, essendo la velocità del fluido inversamente proporzionale alla sezione del tubo, risultava possibile, semplicemente regolando in modo conveniente la sezione stessa, rendere la variazione di tale velocità rispondente ad una legge qualsivoglia.
- Se si identificava l'intensità della forza con la velocità del fluido immaginario, il moto del fluido intubato permetteva di rappresentare sia l'intensità che la direzione delle forze.

- Quanto al fluido adottato, questo non era neppure qualcosa di ipotetico.
- Esso denotava infatti una semplice collezione di proprietà, sintetizzabili per l'appunto mediante un fluido del tutto immaginario, di cui far uso per lavorare su teoremi di matematica pura.
- Tale fluido aiutava dunque il potere evocativo, ma lo faceva senza la pretesa di avanzare teorie fisiche o di rendere conto dei fenomeni

- A ben guardare, quello di Maxwell era un fluido del tutto straordinario, completamente diverso dal *calorico di Carnot* dal quale in qualche modo poteva aver tratto origine.
- Non era infatti, come quello, un fluido ipotetico introdotto per spiegare fenomeni reali.
- Si trattava piuttosto di un insieme di proprietà immaginarie utili soltanto a rendere più comprensibili e visualizzabili certi teoremi di matematica pura.

Aveva invece delle ben precise *disproprietà*, nel senso che:

- doveva avere fluidità ed incomprensibilità perfette,
- non doveva possedere massa,
- essere capace nel contempo di moto inerziale in una certa direzione senza per questo acquisire quantità di moto...

Assimilando la trasmissione di energia allo spostamento del fluido, Maxwell, avvalendosi delle leggi dell'idraulica, pervenne per via matematica a numerosi teoremi. Da questi, sulla base del legame analogico preliminare e della corrispondente trascrizione terminologica, risultò agevole mostrare l'equivalente dei fenomeni elettrici e magnetici descritti in termini di linee di forza.

Qui lo stato elettrotonico è un
semplice ausilio matematico
che serve per usare una
funzione di punto piuttosto che
la nozione di numero di linee di
fora passanti attorno ad un
punto.

Dall'applicazione del modello egli ricava per i tre distinti ambiti due grandezze che egli chiama quantità ed intensità (in seguito flusso e forza).

Questi stanno in una relazione di proporzionalità che dipende dalla resistenza del mezzo materiale.

Il modello si dimostra adeguato nel caso dei fenomeni elettrostatici e magnetostati, ma limitatamente al caso delle sole correnti chiuse.

Ciò esclude i fenomeni legati a carica e scarica delle bottiglie di Leida

Verso una prima unificazione

- Dal momento che in idrodinamica il prodotto di una forza per flusso dà l'energia in gioco accumulata da una sorgente, il prodotto della analoghe grandezze deve condurre all'energia distribuita nel campo dovuta a cariche e magneti
- Maxwell arriverà in tal modo a ravvisare nell'energia l'elemento che unifica le varie trattazioni teoriche possibili di ogni tipo di fenomeno fisico.

- Per suo tramite appare possibile trattare in modo unificato fenomeni che sembrano i più diversi.
- L'attribuzione all'energia di questo status privilegiato appare sempre più evidente rispetto a quello di Newton in cui forza era invece il concetto privilegiato;
- Si passa dunque sempre più dalla filosofia naturale alla filosofia dinamica: corrispondenza tra leggi del fenomeno e leggi della dinamica quest'ultima basata sulla centralità del concetto di energia.

L'intensità elettrica e magnetica potevano essere assimilate alla velocità di tale fluido.

In particolare, adottando tubi sufficientemente piccoli e pertanto ovunque densi, risultava possibile riempire, e dunque geometrizzare, tutto lo spazio.

- Con lo stato elettrotonico per ora non ottiene risultati
- Ammette comunque che dietro a tale nozione possano celarsi valenze che ancora gli sfuggono.
- Introduce in termini di componenti scalari le grandezze $\{B, E, J\}$, nonché l'intensità elettrotonica

- Ricomparirà nei lavori successivi, ma è già il potenziale vettore.
- Introdotto e ripreso da Neumann, Weber, Kirchhoff e Kelvin è già riconducibile al numero di linee di forza di b sul campo.
- Però riesce già a correlare la fem con il tasso di crescita dello stato elettrotonico.

Il potenziale vettore implica l'abbandono del ruolo primario delle linee di forza, perché, nota la corrente si trova il potenziale vettore e da questo si risale direttamente al flusso.

***1862. Il substrato dinamico
del campo elettromagnetico:
“On physical lines of force”***

- Indotto, da un numero crescente di indizi, a ritenere che le linee di forza costituissero di fatto qualcosa di più di un semplice approccio geometrizzante, JCM si convinse che esse rappresentassero quasi la traccia di una “realtà nascosta”.
- E che di fatto, senza la loro concreta interpretazione, non si potesse legittimamente affermare di conoscere il fenomeno indagato.

Da qui la necessità, secondo il fisico scozzese, di riprendere la trattazione già compiuta. E, reinterprestando le equazioni già ottenute “per via geometrica” sulla base di una rigorosa dinamica del loro substrato, di riproporne l’analisi da un punto di vista più fisico.

La calcolabilità dei fenomeni, primo obiettivo della ricerca maxwelliana, veniva dunque ad integrarsi con l'esigenza di intuirne la fisica sottesa. Solo così, d'altra parte, sarebbe stato possibile pervenire ad un'interpretazione dei fenomeni elettromagnetici collocabile all'interno di un quadro unitario.

Con tali consapevolezza, Maxwell affronta con decisione il compito di raccordare le due esigenze, fino a qui prudentemente vissute invece come indipendenti.

Esistevano per Maxwell riscontri fisici sufficienti per ritenere che lo spazio fosse permeato da un mezzo eterico penetrante i corpi ed in grado di trasmettere da punto a punto lo stato dinamico.

Secondo il fisico scozzese, le ragioni di questa congettura traevano sostegno essenzialmente dal confronto con le motivazioni per cui essa doveva essere invece respinta....

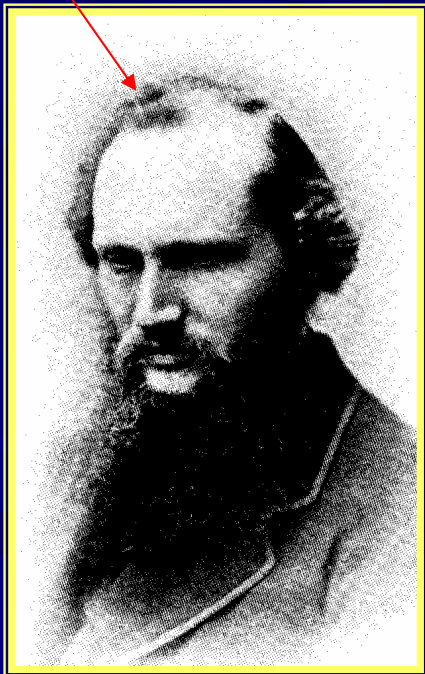
- Innanzitutto vi erano le pompe del vuoto, le quali lasciavano sempre, in quelli che egli chiamava *vacua*, residui di materia tali per cui non appariva lecito parlare della esistenza di vuoti reali.
- Inoltre la radiazione luminosa, come lo scozzese aveva modo di osservare, non subiva modificazioni sostanziali quando alla materia venivano sostituiti i *vacua*.

Pareva dunque ammissibile
ritenere che non la materia, ma
l'etere andasse visto come il
medium confacente alla
propagazione di uno stato
dinamico.

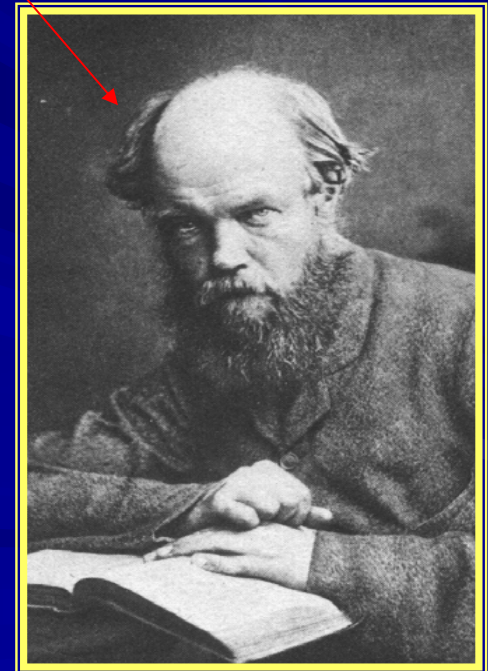
In quegli anni, poi, vi era addirittura chi,
come lo stesso lord Kelvin, riteneva di essere in
grado di ricavare sperimentalmente gli estremi
inferiori della densità di questa quasi-sostanza...

Gli furono guida, in tale lettura, gli studi che,
proprio in quegli stessi anni Kelvin e Tait, i suoi
maghi del nord, andavano pubblicando
sull'argomento

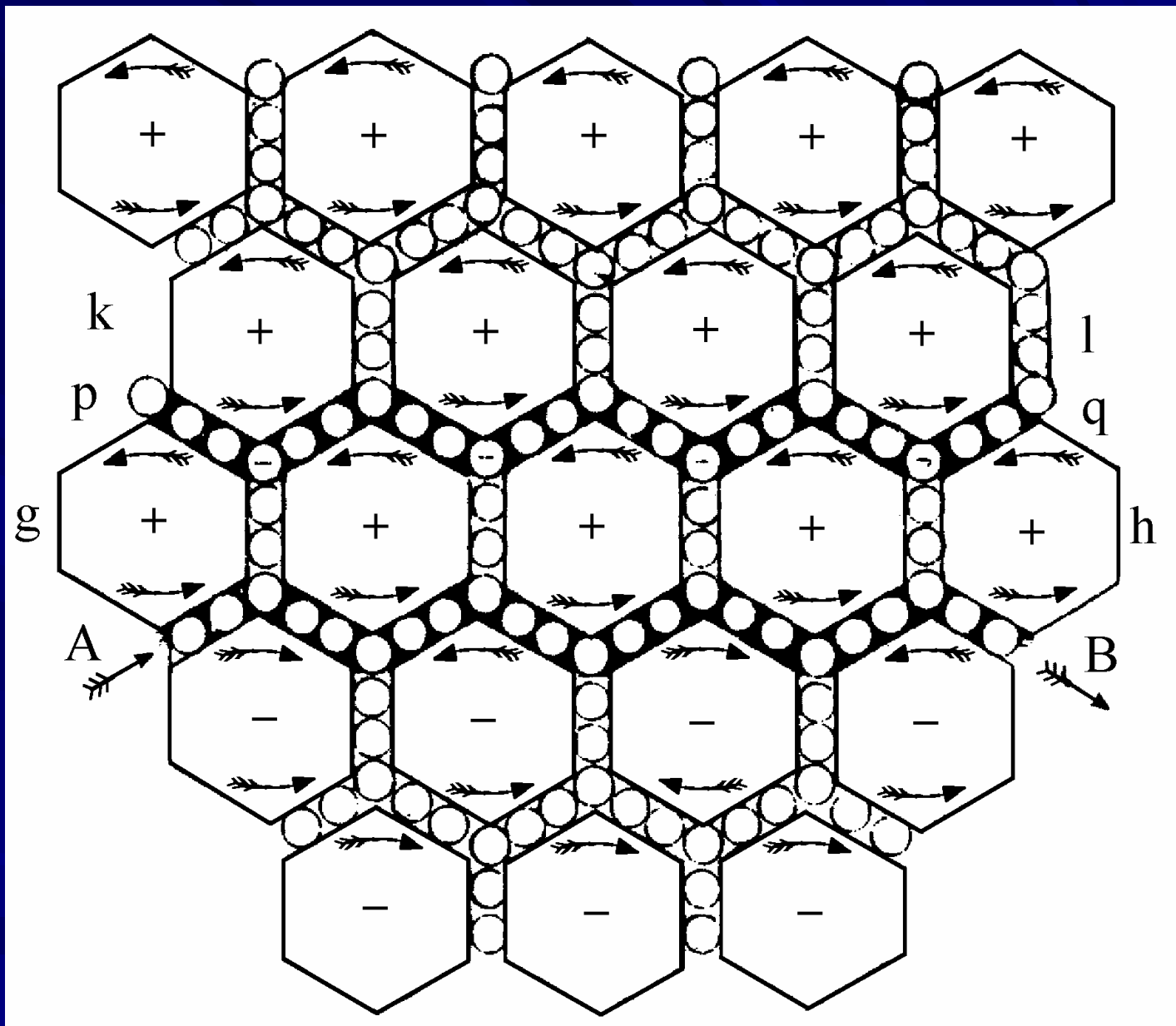
lord Kelvin



P. Tait



Facendo proprie le loro congetture, Maxwell adottò, quale rappresentazione dell'etere, in quella che in seguito fu definita la sua fantasia neocartesiana, il *vortice molecolare*: un insieme di celle elastiche separate da strati di sferette ipotizzante una natura vorticosa delle molecole ed assomigliante in modo impressionante ad una scatola di ingranaggi...



Studiandone in modo più ravvicinato il contenuto, Maxwell giunse alla convinzione che, messa a punto preventivamente la nozione di *vortice molecolare* di un etere fluido, all'elettricità ed al magnetismo potessero rispettivamente attribuirsi una natura traslatoria ed una rotatoria.

Sul piano filosofico il modello elaborato era indubbiamente impegnativo perché, tramite la sostituzione degli atomi con i *vortici di turbolenza*, esso portava con sé, in modo quasi-inevitabile, precise opzioni sulla costituzione della materia.

A questo riguardo Maxwell prese inizialmente tempo ed affermò che, se la turbolenza esisteva, essa era macroscopica ed aveva pertanto dimensioni osservabili.

In tali ipotesi poteva essere ragionevole ritenere misurabili, perché altrettanto macroscopici, gli effetti che ne conseguivano.

Nulla di più.

In seguito, però, subendo sempre di più il fascino della sua suggestione neo-cartesiana, l'immaginazione di Maxwell andò molto più lontano. Fino ad approdare ad una vera e propria fisica dei vortici. Per essa, non più riguardabili come semplici linee di tensione solcanti un fluido matematico, i tubi di flusso di Faraday sarebbero maxwellianamente diventati un sistema reale di cilindri, rotanti attorno al proprio asse ed in grado di riempire fisicamente, con la propria presenza, tutto lo spazio.

Secondo il suo schema lo spazio veniva considerato come un fluido nel quale ruotavano vortici i cui assi erano identificati dalla direzione delle linee di forza magnetiche...

In assenza di vortici, la pressione è eguale in tutte le direzioni, mentre, in presenza di vortici, le forze centrifughe causate dalla rotazione di quest'ultimo fanno sì che ogni vortice si contragga longitudinalmente ed eserciti radialmente una certa pressione dipendente dalla velocità.

Già Faraday aveva proposto una sua lettura fisica ipotizzando un accorciamento delle linee di forza in senso longitudinale delle linee di forza ed una loro repulsione reciproca laterale.

La prima deduzione del modello è quindi promettente.

Nel passo successivo JCM considera la velocità angolare dei vortici proporzionale al campo magnetico.

- *In questo modo egli correla le interazioni tra correnti e campi magnetici*
- *Poi parla delle ruote pigre, le quali, rappresentative dell'elettricità, trasmettono il moto da un vortice all'altro come accade nei cuscinetti a sfere.*
- *Rotolando sulle superficie dei vortici, trasmettono il moto da uno agli altri di questi*

In questo modo l'elettricità cessa di essere un fluido intubato confinato nei conduttori e diventa ovunque presente, libera di muoversi nei conduttori e bloccata nei dielettrici, compreso lo spazio visto come il dielettrico primordiale.

- *In tal modo JCM riesce ad ottenere nel modello meccanico la spiegazione delle azioni della funzione elettrotonica: essa assolve infatti, nel caso delle fem, ad un ruolo simile a quello che newton attribuisce all'impulso.*
- *Per JCM la funzione elettrotonica può essere definita come il momento della quantità di moto dei sistemi di vortici definito punto per punto.*

Passa ora ai fenomeni dielettrici... La ricerca del suo modello meccanico si sposta a questo punto all'etere lunimifero che in quegli anni era oggetto di tanta attenzione da parte dei filosofi naturali.

- *Se la tensione elettrica è applicata ad un conduttore, la materia dell'elettricità si muove rotolando tra le superficie dei vortici*
- *Se il corpo è isolante la ddp viene immagazzinata nel mezzo elastico sotto forma di energia potenziale. Queste deformazioni inducono uno spostamento delle particelle formanti l'elettricità dalle loro posizioni di equilibrio. A differenza di quanto avviene in un conduttore, l'elettricità rimane legata alle molecole ma non passa dall'una all'altra*

- *Il conduttore è dunque assimilato ad una materia porosa che oppone maggiore o minore resistenza al passaggio del fluido: processo viscoso*
- *il dielettrico è una membrana elastica che è impermeabile al fluido ma ne trasmette la pressione da una parte all'altra. In tal modo arriva alla corrente di spostamento.*

- *Essendo un mezzo elastico ne calcola la celerità con cui si propaga una perturbazione. Trova la coincidenza tra l'etere elettromagnetico e l'etere luminifero.*
- *Sarebbe difficile non inferire che la luce consista di moti ondulatori trasversi dello stesso mezzo che è la causa dei fenomeni elettrici e magnetici...*

Il filosofo naturale di alta scuola
(gli studi polivalenti di fisica
matematica e di filosofia ad
Edimburgo e a Cambridge...)

- La teatralità del vortice molecolare, trovando riscontro nell'effettivo approfondimento “fisico” che da essa conseguiva, si confermava dunque all'altezza del disegno globale: il magnetismo diveniva l'energia cinetica di rotazione dei vortici, le azioni tangenziali chiamate in causa dalla trasmissione per contiguità, da vortice a vortice, del moto divenivano il campo elettrico; la corrente di conduzione riportava infine al moto traslatorio delle sferette pigre.

Così concepito, il modello meccanicistico, oltre a consentirne comunque il calcolo, rendeva soprattutto ragione del fatto che i fenomeni elettromagnetici sono di fatto ed in modo esclusivo dovuti alla presenza di materia in movimento e di pressione agente in ogni parte del campo.

E non, invece, all'azione diretta, a distanza, di magneti e di correnti...

Quest'ultima, in particolare, si
apprestava dunque ad
appropriarsi di quel ruolo di primo
piano che nella costituzione del
mondo fisico le spettava di
diritto...

In realtà, in Maxwell, tale laboriosa
evoluzione era del tutto apparente
e non corrispondeva in alcun modo
ad un effettivo chiarimento della
sua conoscenza della materia...

Occorre tenere conto a questo proposito che, proprio in quegli stessi anni, il fisico scozzese stava lavorando alla sua teoria dei gas e che, nell'ambito di questa, egli si avvaleva di modelli meccanici della materia del tutto diversi da quelli contemporaneamente adottati in elettromagnetismo. E non si trattava di un disaccordo formale o comunque trascurabile, perché di tale "contraddizione" egli era più che mai consapevole.

Al punto tale che, ciò che gli verrà in seguito addebitato, pur parlando esplicitamente di vortice, egli evitò sempre accuratamente di entrare nel dettaglio costitutivo...

- Inoltre, progredendo nelle sue riflessioni, egli si rendeva sempre più conto di come solo in apparenza il problema del substrato dinamico del campo elettromagnetico risultasse incentrato sull' effettiva struttura della materia e sui suoi possibili punti di contatto con i vortici.
- Gli sembrava infatti, al punto in cui ormai egli era arrivato, che il tema di fondo, superando in tal modo la questione del successo dei modelli, fosse costituito dal modo stesso di far fisica che vi era sotteso.

Ad essere in gioco era dunque la credibilità stessa della teoria di cui egli si stava occupando.

Se da una parte si collocava la fisica dei modelli, dall'altra vi era la necessità prioritaria di stabilire una volta per tutte se, ed in che misura, una coincidenza nell'espressione matematica di due classi di fenomeni poteva realmente costituire un'indicazione del fatto che i due fenomeni indagati sono dello stesso tipo.

Tale progressivo cambiamento di prospettiva era poi indotto anche dal crescente numero di modelli meccanici possibili introdotti...

Procedendo lungo tale percorso, ogni tentativo di formalizzazione della teoria avrebbe implicato l'addentrarsi in complesse ed artificiose procedure di confronto tra i diversi modelli possibili.

Inoltre, constatando quotidianamente come la scienza scoprisse classi di fenomeni che, pur governate da leggi matematiche dello stesso tipo, divergono di fatto sotto aspetti non interamente coperti dalle sola analogia matematica, Maxwell si rendeva sempre più conto della parzialità delle coincidenze formali.

Al punto in cui era arrivato, si trattava di problemi di ben più ampia portata, tale ormai da non interessare più solo i fisici, ma, più in generale, tutti coloro che desideravano effettivamente capire i fattori che entrano in gioco di fronte alla credibilità di una teoria.

Lo scenario stava cambiando...

- Il vortice confermava certamente una ben precisa linea di tendenza in base alla quale la materia andava letta meccanicamente come una riunione di parti distinte interagenti in termini discreti
- Esso, però, non poteva più, in alcun modo, rappresentare nel dettaglio la natura.
- Diveniva ormai solo un sistema immaginario, capace di imitare i fenomeni elettromagnetici, ma non per questo di rispecchiarne le reali interconnessioni interne.

Nient'altro dunque, secondo Maxwell, che pure e semplici analogie formali che, riflettendo alcuni aspetti del mondo obiettivo, hanno il compito specifico di aiutare l'immaginazione...

- Con il tempo, Maxwell andò acquistando una consapevolezza sempre più netta e radicata in merito al carattere relativo dei modelli ed alla conseguente necessità di non vincolare mai, in alcun modo, le teorie ai modelli stessi.

E le conclusioni su cui si attestò divennero drastiche.

- Rifiutare in ogni caso i modelli che non fossero accompagnati dalla precisa consapevolezza critica della loro relatività;
- respingere l'approccio incentrato sulle analogie formali;
- rifarsi infine ad un approccio puramente fenomenologico.

Da tali riflessioni sul rapporto scienza-natura emergeva dunque ormai, oltre che un fisico senza pari, un grande pensatore. Con lui, generati da questi dubbi, i modelli meccanici sarebbero diventati sempre più illustrativi e sempre meno esplicativi. Fino a limitarsi ad indirizzare l'immaginazione del lettore verso i fenomeni meccanici solo per averne l'aiuto necessario per comprendere quelli elettromagnetici

La accettazione di questo modo di vedere la natura avrebbe però richiesto un prezzo elevato: la possibile messa in discussione, per la prima volta nella storia, del primato della meccanica...

- Con le conclusioni basilari cui era stato condotto dalla messa a punto del suo vortice, il *fisico teorico Maxwell* poteva considerare brillantemente assolto il compito che si era assunto. Nella memoria *On physical lines of force*, infatti, pur senza l'esplicitazione formale delle celebri equazioni, l'essenza della sua teoria poteva dirsi ormai presente. Si trattava di un sistema deduttivo rigorosamente matematizzato, grazie al quale la fisica compiva un passo che aveva ben pochi precedenti nella storia del pensiero umano.

- Per parte sua, invece, il *filosofo naturale Maxwell*, riflettendo sulle premesse metodologiche dei risultati conseguiti, giungeva a dichiararsene insoddisfatto. Sotto il profilo della conoscenza della struttura discreta della materia, infatti, la transizione dal modello geometrico a quello meccanico non costituiva per lui un autentico passo in avanti. Una volta comprovato sotto il profilo euristico, il modello meccanico non poteva che eventualmente riflettere alcuni aspetti ed alcuni soltanto del mondo obiettivo. Ad esso non era conseguentemente addebitabile altro che un valore puramente formale

- In questa sottile distinzione metodologica tra l'iniziale approccio modellistico, ora visto solo come una impalcatura intermedia, ed un approccio fenomenologico di più ampio respiro, andavano via via configurandosi, all'indomani delle *physical lines*, i segni della mutata consapevolezza con cui Maxwell guardava al lavoro fino a quel momento compiuto. Le esigenze critiche e le istanze conoscitive che, a fronte dell'ormai lunga e matura riflessione, lo stavano animando, valicavano ormai sempre di più il limite di semplice problema elettromagnetico e, influenzando profondamente la fisica moderna, si attestavano sulla questione sempre aperta del rapporto uomo-scienza-natura, vissuto come bisogno interiore di rappresentazione concettualmente soddisfacente di quest'ultima.

- Con tutte queste premesse, e con tali “presagi”, Maxwell approdava all’ultima fase della sua trilogia: la *Dynamical Theory*. Essa avrebbe comportato una vera e propria riformulazione della sua teoria. E, con essa, una sua nuova presentazione che, pur conservando intatte, al di là degli scontati approfondimenti, le concezioni di base di deduzione euristica, avrebbe finito con il porla su nuove fondamenta. Grazie a questo nuovo modo di fare scienza, diverso nell’atteggiamento epistemologico piuttosto che nella sostanza dei contenuti, la teoria dinamica di Maxwell avrebbe espresso l’Elettromagnetismo non più riduzionisticamente, ma in quanto tale.
- Nella *Dynamical Theory* è pienamente confermata l’azione per contatto. Quanto alla teoria, essa è dinamica, nel senso che, assunto che quello spazio vi sia materia in movimento, essa continua a far riferimento all’ipotesi che la spiegazione ultima del fenomeno elettromagnetico avvenga in un mezzo meccanico. È nel contempo di campo perché permette la deduzione delle leggi che unificano i fenomeni elettromagnetici e quelli luminosi non a partire dalla descrizione di un particolare meccanismo ma dall’analisi delle relazioni sussistenti tra i vari risultati sperimentali riguardanti lo spazio circostante i corpi elettrici e magnetici.

- Secondo il punto di vista maturato da Maxwell, le proprietà di un campo dipendono in modo esclusivo dalle sue caratteristiche interne. Analizzandole, la fisica matematica può individuare “infiniti modelli”, tutti egualmente equivalenti agli effetti esterni. Come tali, essi sono in grado di imitare i comportamenti del sistema, non già di rispecchiare sotto il profilo conoscitivo le connessioni interne. Con ciò, dal momento che il problema di costruire un complesso di meccanismi capaci di ridare certi fenomeni ammette infinite soluzioni, consegue che ad uno qualunque tra i modelli ottenibili non potrà riconoscersi che un ruolo puramente euristico di guida intermedia verso le equazioni del campo

- E' con tali premesse metodologiche che Maxwell pubblica la sua terza memoria. In essa il campo, finalmente espresso, seppur in una forma diversa da quella attuale, dalle sue celebri equazioni, si avvale del solo corredo di significati fisico-matematici che da esse si deducono. Per il resto la trattazione svolta prescinde da considerazioni relative a qualsivoglia modello e si limita, sotto l'aspetto riduzionistico, ad un meccanicismo del tutto imprecisato le cui caratteristiche specifiche ha volutamente cura di mantenere astratte e generiche. Mol

- In sostanza le nuove fondamenta sulle quali Maxwell viene a stabilire la sua teoria sono costituite dalla convinzione del tutto rivoluzionaria secondo la quale le equazioni differenziali del campo non derivano più la loro validità dai principi della Meccanica, ma semplicemente costituiscono il diretto ed obiettivo risultato interpretativo di natura matematica di fatti oggettivamente desunti dall'evidenza sperimentale. Esse non risultano dunque più vere in quanto obbligatoriamente deducibili da un modello meccanico tra gli infiniti possibili, ma perché derivanti, sul piano puramente operativo, da informazioni legate, tramite la sperimentazione, alla reale connessione del campo. Quelle stesse connessioni che proprio il modello meccanico poteva solo imitare, ma non copiare...

- La portata del passo compiuto dal pensiero maxwelliano era cruciale: la teoria dei campi poteva dirsi autonoma dallo schema esplicativo della meccanica e dalla necessità di far ricorso ai suoi linguaggi. Tramontava dunque il riduzionismo meccanicista di ispirazione rinascimentale e, con Fourier, ci si collocava su posizioni puramente fenomenologiche.

- Nel precisare il senso ed il ruolo della raggiunta autonomia dalle leggi del moto, Maxwell ha cura di sottolineare tuttavia l'aspetto comunque dinamico che è proprio della teoria proposta. Essa parte infatti pur sempre dall'ipotesi fondamentale che nello spazio vi sia materia in movimento, per opera della quale sono comunque prodotti i fenomeni oggetto di studio. Occorre per conseguenza distinguere il fatto autonomistico, secondo il quale le equazioni sono di deduzione sperimentale, dall'aspetto energetico legato alla propagazione degli eventi. Affinché esso possa attuarsi occorre la presenza di un mezzo in grado di reggere e di guidare la propagazione di un'energia che, trasformandosi continuamente da cinetica in potenziale e viceversa, consenta il prodursi ed il propagarsi con la celerità della luce dei fenomeni considerati

- L'energia che Maxwell considera, e qui va visto il senso dell'autonomia della teoria dinamica, è dunque meccanica in senso stretto. Pur tuttavia essa non abbisogna necessariamente di ipotesi meccaniche legate alla costruzione modellistica del comportamento dell'etere, in quanto essa non perde di significato se la si tratta in termini di grandezze elettromagnetiche. Queste ultime, dal canto loro, trovando una definizione autonoma nella teoria del campo, non abbisognano di alcun supporto meccanicista.

- Tale approccio rendeva tuttavia problematica la teoria dell'etere, nel senso che, pur riconoscendone l'onnipervadenza quale recipiente dell'energia, la conoscenza del suo comportamento dinamico risultava ormai inessenziale. Si andava dunque delineando quella che, attraverso la crisi della triplice alleanza etere, materia e spazio, sarebbe stata la rivoluzione concettuale degli anni successivi: il rifiuto o l'accettazione dell'etere celava il riconoscimento o meno della priorità della meccanica sull'elettromagnetismo.