

PENSARE DA FISICI

Carlo Bernardini

carlo.bernardini@roma1.infn.it

La percezione diretta della realtà probabilmente funziona allo stesso modo per tutti. Per lo meno, il fatto che persone che hanno gli organi percettivi sani ne diano una descrizione sovrapponibile a quella di un interlocutore parimenti dotato di un linguaggio descrittivo, conforta la convinzione che la rappresentazione osservativa diretta abbia la possibilità di identificare gli stessi elementi.

La registrazione di quella osservazione nella memoria è però solo un atto deliberato determinato da qualche motivo di interesse che si manifesta con diverse motivazioni e anche con diverse intensità.

LE RAPPRESENTAZIONI MENTALI

Quasi sempre, però, la rappresentazione mentale che si ottiene con il trasferimento in memoria di osservazioni meritevoli ritocca la realtà percepita, in funzione di una utilizzazione individuale particolare; questa utilizzazione è determinata sia dai moventi dell'attenzione con cui l'osservatore campiona gli elementi di realtà che ha osservato, sia dagli strumenti culturali di cui dispone.

Tra le tante rappresentazioni mentali fiorite nella cultura umana, una, che mi è più familiare per motivi professionali, mi sembra che sia poco conosciuta al grosso pubblico: è quella dei fisici.

Ha perciò una qualche importanza dare un'idea del modo in cui un fisico si appropria della realtà naturale allo scopo di lavorare a una analisi che abbia, al suo completamento, la struttura operativa di ciò che chiamiamo una "teoria". Intanto, gli elementi di ciò che si osserva prendono saggiamente il nome di "sistemi fisici", per riconoscerne sia la complessità strutturale che l'appartenenza ad un sistema-contenitore più vasto che, per semplicità, chiameremo "ambiente". Il sistema in osservazione può essere o no in interazione con l'ambiente; quando non lo è, lo chiamiamo "isolato" e l'ambiente assume il mero significato geografico detto "riferimento".

Già queste operazioni di ridurre l'oggetto di osservazione a un sistema più un ambiente comportano una sfrondata che chiamerò "eliminazione della ridondanza". Nel caso di un sistema isolato, l'universo osservato si riduce a quel solo sistema, sia pure immerso in un universo percepibile all'osservatore; il quale osservatore può esercitare la sua volontà decidendo di sollecitare il sistema oppure limitandosi a osservarne l'evoluzione temporale spontanea.

In entrambi i casi, l'attenzione è concentrata sulle variabili che si manifestano con più evidenza, allo scopo di decidere quali sono quelle significative che entreranno nella sintesi mentale che forma la rappresentazione mentale oggetto del linguaggio scientifico formalizzato e in tal modo operativo.

Chiamerò questa operazione di elaborazione, dall'eliminazione delle ridondanze alla costruzione dell'elaborazione formalizzata, la realizzazione di un "simulacro" di tutti i possibili sistemi del tipo di quello in considerazione.

È dalle proprietà e dai comportamenti di questi simulacri nell'ambiente che riusciamo a ottenere quelle che si chiamano comunemente le "leggi naturali".

Il fatto che queste leggi siano appropriate all'espressione linguistica di ciò che costituisce la realtà esterna all'osservatore (ad ogni osservatore) è trasparentemente visibile nella caratteristica "indipendenza da ogni convenzione umana" della loro forma simbolica.

È questo che fa parlare spesso un po' pomposamente di "leggi universali, benché da ciò nasca un potente equivoco: universali non vuol dire valide per tutti i possibili sistemi fisici ma solo per quelli in qualche modo commensurabili a quel gruppo da cui è nata la fenomenologia di quella rappresentazione.

Da lì l'ininterrotta catena di teorie di generalità crescente che, in genere, inglobano quelle precedenti come casi validi con buona approssimazione solo in ambiti più ristretti:

dunque, non il superamento di leggi sbagliate ma la generalizzazione a sistemi e ambienti più larghi.

La "Fisica classica" va bene per i problemi geologici o per l'ingegneria edile, ma non per la chimica molecolare o la cosmologia che richiedono simulacri simbolici più generali (la meccanica quantistica e la relatività generale).

L'indipendenza delle leggi dalle convenzioni umane implica l'invarianza di quelle leggi rispetto a una trasformazione delle convenzioni che fissano i processi di misura delle variabili e, quando è il caso, anche dei parametri che caratterizzano il contesto naturale. Queste trasformazioni vengono chiamate, forse in modo non felice, "Simmetrie". Sono simmetrie "Geometriche" quelle generate dall'invarianza per trasformazione del sistema di riferimento (traslazione e rotazione); sono simmetrie "Cinematiche" quelle generate dall'invarianza rispetto alle trasformazioni tra riferimenti in moto relativo inerziale (trasformazioni di Galileo o di Lorentz - Poincaré), sono simmetrie "di scala" quelle generate da cambiamenti delle unità di misura (principio di omogeneità e similitudine).

Tutto ciò prende le mosse, nella sua attuazione generale, dal grande sviluppo della Meccanica Analitica nel XIX secolo e della teoria dei gruppi: i nomi di Joseph-Louis Lagrange, William Rowan Hamilton, Felix Klein, Sophus Lie e Amalia (Emmy) Noether sono determinanti nella costruzione dei simulacri più sintetici e operativi e delle loro proprietà, a cui nel XX secolo si aggiunsero simmetrie discrete tipiche della microfisica e simmetrie più complesse come quella di gauge. Ma non si può tacere che l'idea alla base di tutto si può trovare già in Galileo Galilei: Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo; il § è sobriamente intitolato:

In mare, sotto coverta.

*Riserratevi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto
coperta di alcun gran
naviglio e quivi fate di aver mosche farfalle e
simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso
d'acqua e dentrovi de' pescetti; suspendasi anco
in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia
vadia versando dell'acqua in un altro vaso di
angusta bocca, che sia posto a basso: e stando
ferma la nave, osservate diligentemente come
quelli animaletti volanti con pari velocità vanno
verso tutte le parti della stanza; i pesci si
vedranno andar notando indifferentemente per
tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel
vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna
cosa, non più gagliardamente la la dovrete gettare verso quella
parte che verso questa, quando le lontananze siano eguali.*

Osservate che avrete tutte queste cose, benché niun dubbio vi sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina o sta ferma [...]. E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'essere il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che perciò dissi io che si stesse sotto coverta.

Interviene a questo punto il dotto amico Sagredo, con una perspicua osservazione che fa ben capire la genialità dell'argomento che trasforma osservazioni comunissime in una conclusione sbalorditiva (e questo è il punto in cui scopro il senso profondo del comunicare!):

Queste osservazioni, ancorché navigando non mi sia caduto in mente di farle a posta, tuttavia son più che sicuro che succederanno nella maniera raccontata: in conferma di che mi ricordo essermi cento volte trovato, essendo nella mia camera, a domandar se la nave camminava o stava ferma e talvolta, essendo sopra fantasia, ho creduto che ella andasse per un verso, mentre il moto era al contrario.

Per molti decenni, la fisica ha sviluppato un modo di pensare basato su una semplificazione potentissima che chiamerò “atomizzazione formale”: questa atomizzazione consiste sostanzialmente nell’immaginare che ogni sistema sia costituito da “punti geometrici” dotati di massa (perciò, punti “materiali”) e, possibilmente, di altre proprietà localizzate nello stesso punto, come una carica elettrica, un momento magnetico, un momento angolare intrinseco (“spin”), eventualmente altro, se richiesto dalla fenomenologia osservata.

Questi punti materiali erano/sono pensati immersi in un vuoto speciale, che alberga i “campi”, cioè gli agenti delle forze che regolano ogni sorta di cambiamento nei sistemi.

La grande scoperta di Galilei-Newton consiste nel comprendere che le relazioni di causa ed effetto non sono tali da far sì che le cause (forze) generino un qualsivoglia movimento (velocità) come effetto; ma che si traducono in relazioni tra una “forza” e una “accelerazione”.

Ordini di grandezza

A questo punto, voglio ricordare che un buon fisico ha sempre un'idea di due nozioni, per così dire, un po' "rozze": la nozione di ordine di grandezza e quella di arrotondamento. Queste nozioni agiscono nei grandi fisici quasi come riflessi condizionati e consentono di eliminare congetture che sono quantitativamente "sballate" (attenzione: sballate è diverso da sbagliate!)

Bruno Touschek: qual è la velocità naturale di un uomo che cammina?

Un uomo muove un pendolo di lunghezza 1 metro, il cui periodo naturale è di circa 2 secondi. Facendo passi di un metro, va a circa 2 km/h.

Elementare.

Enrico Fermi e Emilio Segrè: Ci sono due individui al mondo con esattamente lo stesso numero (non importa quale) di capelli?

Certamente! Perché ci sono più persone al mondo (6 miliardi) che capelli su una testa...

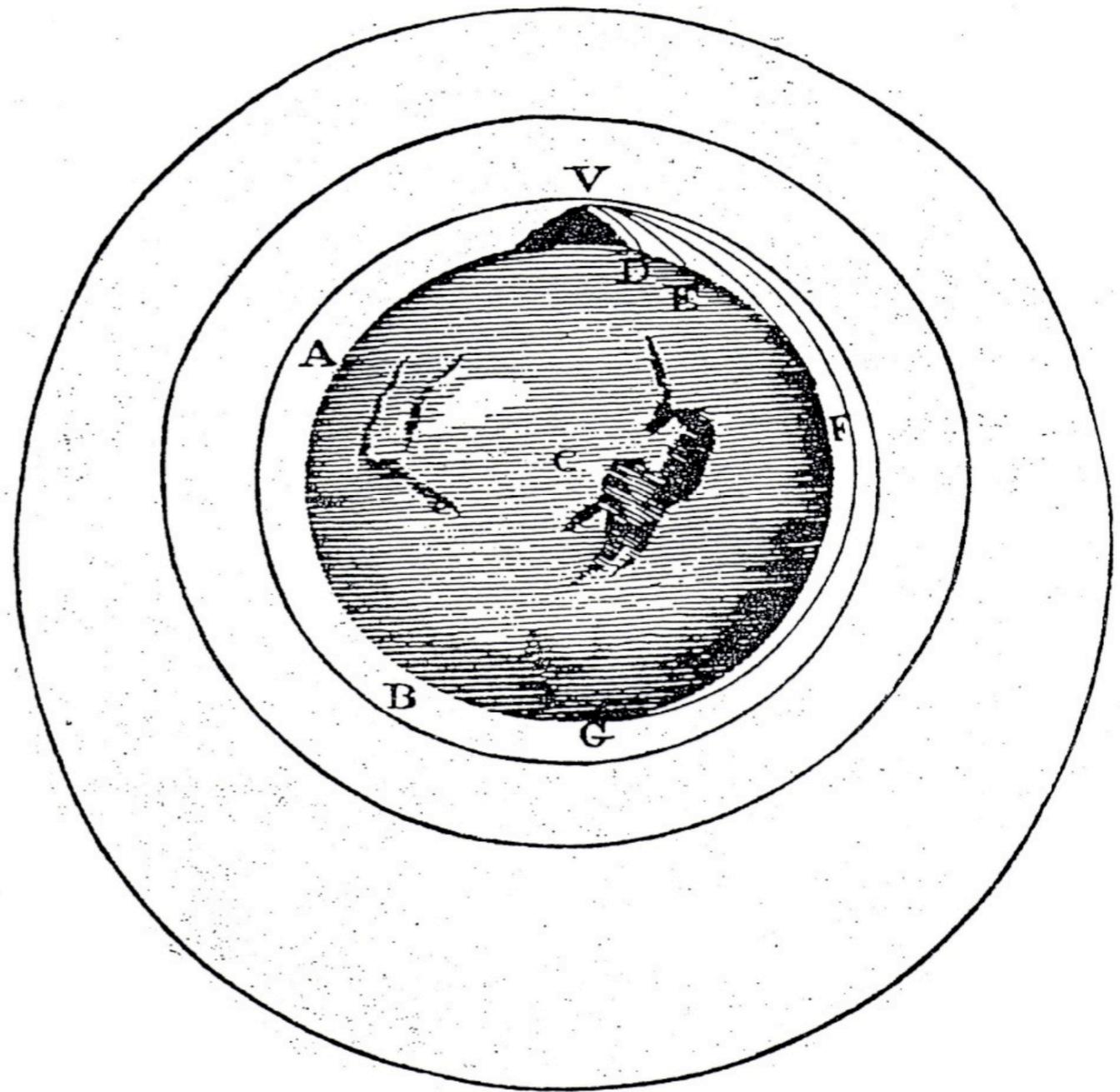
Ecc.

Un “meccano mentale” sostituisce a ciò che si osserva un sistema su cui si può lavorare: è una esplosione della concezione alla base della vecchia geometria. Molti avranno letto che i triangoli di cui parla Euclide non esistono in natura, cioè come oggetti naturali.

Perché non provarci anche con i sistemi fisici?

A quel punto, quando i sistemi fisici sono ridotti all'essenziale, si può tentare di studiare le leggi del loro comportamento; e un modo raffinatissimo per farlo consiste nell'immaginarsi i cosiddetti “esperimenti pensati” (**Gedankenexperimenten**). Ne ho già citato uno, quello di Galilei che nega il significato assoluto della velocità con gli esperimenti, citati, che si potrebbero fare a bordo di una nave ma non c'è nemmeno bisogno di rifare.

Ve ne mostro un altro, un semplice disegno di Isaac Newton che permette di passare con continuità dalla caduta dei gravi al moto dei pianeti: è geniale. Il disegno mostra come la traiettoria di caduta di un grave dalla vetta *V* di una montagna immaginaria (esagerata per comodità di visualizzazione) si muti nella “caduta” in orbita di un pianeta grazie a una conveniente velocità iniziale minima di “lancio”, superiore però a una velocità “di soglia” che non a caso, prenderà il nome di “velocità di fuga”.



Feynman non può mancare

Il terzo principio della dinamica di Newton (detto di “azione e reazione”) fa acqua: due punti distanti esercitano tra loro forze uguali ed opposte, che perciò, sommate, si cancellano.

Ma se i due punti si muovono?

Le forze, che dipendono dalle posizioni, si cancellano come se fossero percepite istantaneamente, senza tempi finiti di propagazione da un punto all'altro?

Attenzione, se vale il terzo principio, la cancellazione fa sì che la quantità di moto complessiva dei due punti sia nulla, zero.

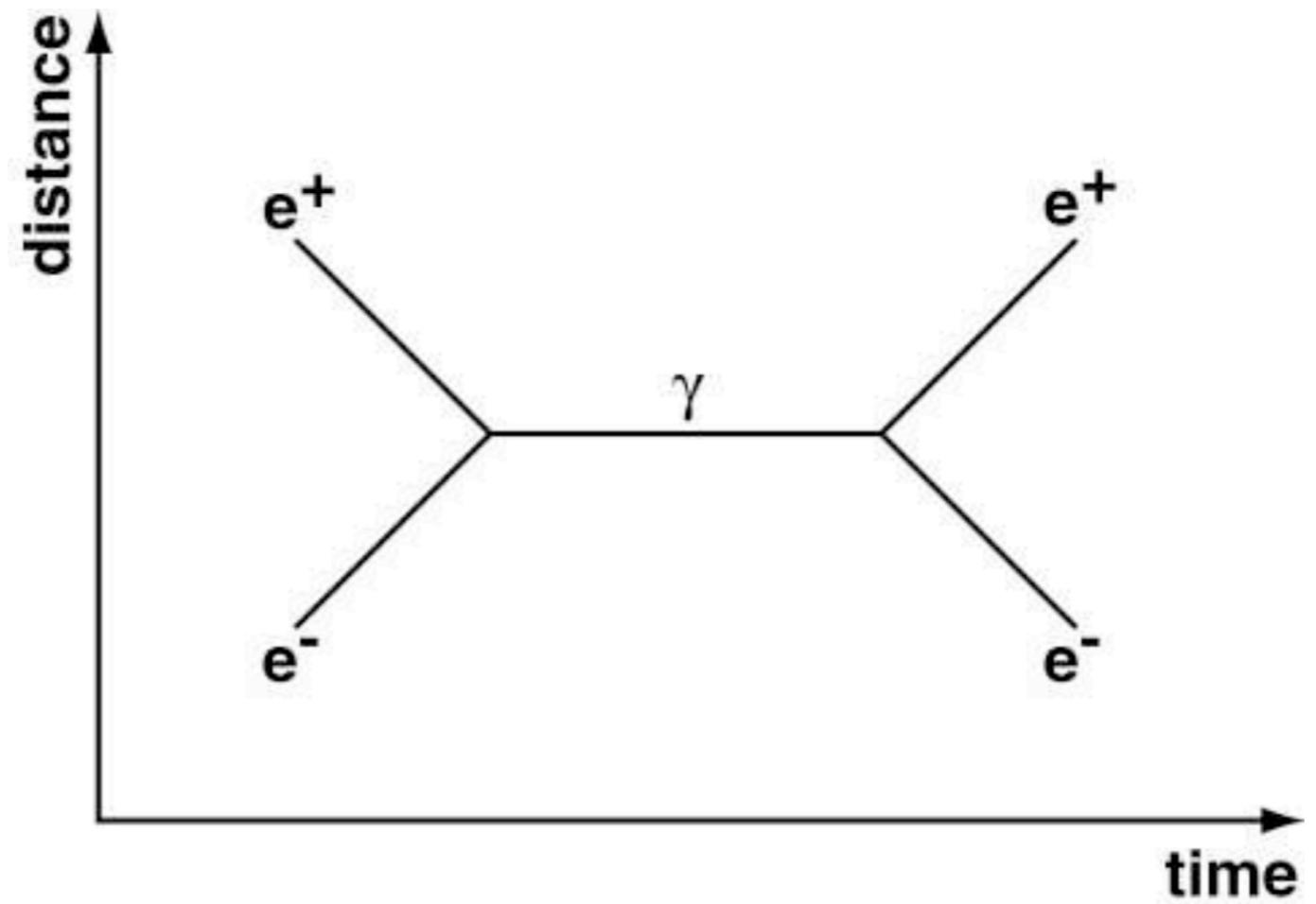
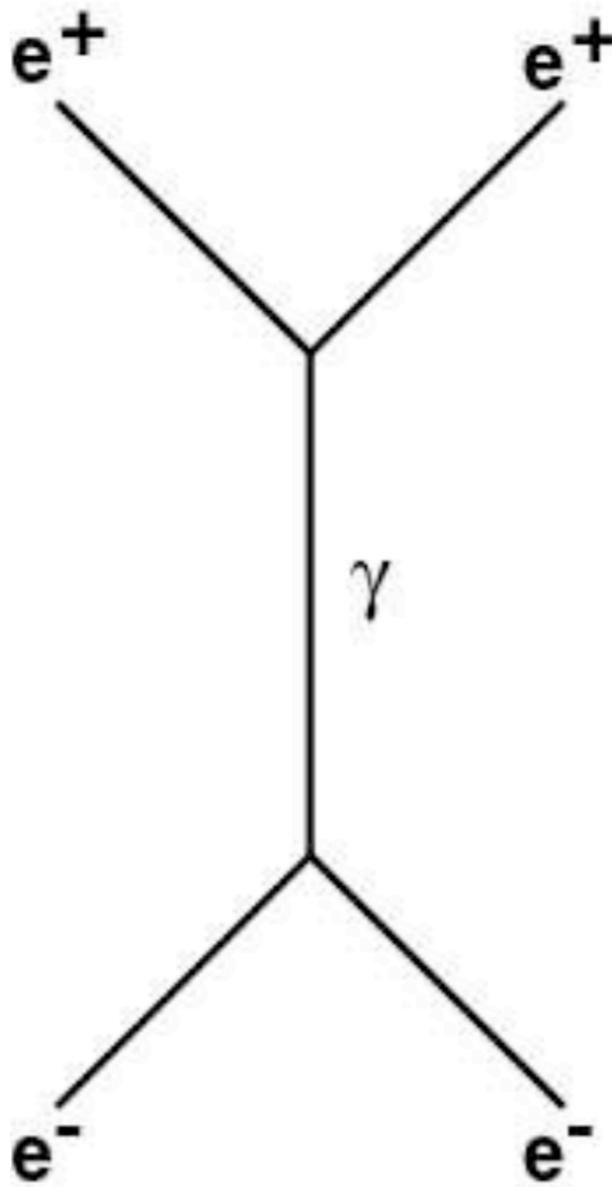
Nell'articolo *The Conceptual Basis and Use of the Geometric Invariance Principles* Wigner, Houtappel e Van Dam, se ne occupano e stabiliscono la forma più generale di una forza tra due punti che porta alla conservazione della quantità di moto e rispetta la relatività propagandosi a velocità finita.

Ma Dick Feynman inventa una rappresentazione mentale migliore: se il punto A spara un proiettile verso il punto B che poi è colpito, il proiettile trasferisce quantità di moto e energia e tutto si conserva.

Naturalmente, possono essere sparati più proiettili, sia da A che da B e qualcuno può non colpire il bersaglio e questo complicherà i calcoli.

Ma quello che si doveva conservare è salvo!

Ed eccovi i magici pupazzi di Feynman



CONCLUSIONE

Voglio chiudere con un sincero compiacimento:

a me la fisica è sempre piaciuta perché dà spazio all'

“immaginazione creativa”.

Forse nello stesso modo in cui la gustano quelli che pensano

come sarà una costruzione prima di costruirla;

ma con il vantaggio di fare tutto in testa e di riconoscere nella

propria testa come è veramente fatta la realtà.

Vi auguro di godervela senza paura!