

La *logica* della fisica moderna

di LEONARDO GARIBOLDI

Non solo i matematici e i filosofi hanno qualcosa da dire sulle regole del ragionare corretto. Anche i fisici...

Sotto molti aspetti la fisica viene considerata la disciplina scientifica che serve da modello a tutte le altre: è la scienza con più equazioni, con modelli matematici onnipresenti, quella che rappresenta al meglio la sintesi tra osservazioni, esperimenti e ragionamenti. Dire ragionamenti vuol dire logica. Ma che logica usano i fisici? Vediamolo insieme.

I principi della logica sono il galateo del buon ragionamento. A partire dai tempi di Aristotele, nel corso di più di due millenni i logici sono andati precisando sempre meglio i principi della *logica classica*. Esistono alcuni principi semantici che regolano i ragionamenti classici. Vediamone in particolare due: il principio del terzo escluso e il principio di non contraddizione.

Il *principio del terzo escluso* afferma che una proposizione P è vera o falsa. P non può essere né vera né falsa o una via di mezzo. Certamente può capitare che non si sia capaci di determinare se P è vera o falsa. Ad esempio, la proposizione $P =$ "esiste la vita su un altro sistema planetario" è vera o falsa? Oggi come oggi nessuno lo sa, però sicuramente P è vera o falsa.

Il *principio di non contraddizione* afferma che una proposizione P e la sua negazione $\neg P$ non possono essere contemporaneamente vere. Il principio del terzo escluso dice che P sicuramente è vera o falsa (e non qualcos'altro), il principio di non contraddizione in più dice che P non può essere sia vera sia falsa, delle due l'una! Con buona pace delle "convergenze parallele" dei nostri politici...

Fin qui tutto bene, sennonché i fisici del XX secolo non si sono fatti troppi scrupoli nello stravolgere la logica classica. Del resto il vero colpevole è la natura che funziona a volte in modi molto strani.

Iniziamo dal principio del terzo escluso. Questo principio è strettamente legato al *determinismo*, cioè alla capacità di prevedere, usando all'occorrenza anche la matematica, quello che può capitare in futuro. Ad esempio, se lasciamo cadere un sasso nel vuoto, con un minimo di conoscenze di fisica possiamo affermare fin da ora dove si troverà esattamente tra 5 secondi (s) e a quale velocità si starà muovendo (se assumiamo un'accelerazione di gravità pari a $9,8 m/s^2$, avrà percorso $122,5 m$ e avrà una velocità di $49 m/s$). In modo analogo, possiamo determinare quale temperatura avrà una data soluzione acquosa in cui avviene una certa reazione chimica ecc.

Che cosa c'entra il principio del terzo escluso con tutto ciò? Consideriamo la proposizione $P =$ "il sasso tra 5 s si



A Marie Curie (1867-1934) il premio Nobel per la Fisica fu dato nel 1903 anche per le sue ricerche sulla radioattività.



Erwin Schrödinger (1887-1961)

troverà 122,5 m più in basso”. Il determinismo ci permette di stabilire dove si troverà il sasso. Possiamo così sapere che P è vera (oppure falsa), proprio come viene affermato dal principio del terzo escluso. Non abbiamo, pertanto, particolari problemi ad accettare che se vale il determinismo, allora vale il principio del terzo escluso. In fisica classica si considera che anche l'altra implicazione sia vera, vale a dire che il terzo escluso implichi il

determinismo; se la frase “il sasso tra 5 s si troverà 122,5 m più in basso” è vera, allora ho determinato dove si troverà il sasso tra 5 s. Se è falsa, ho determinato dove sicuramente NON sarà.

Tutto bene? Pare di sì, ma consideriamo ora quest'altro caso. Sia P = “nel 2015 tre studenti della classe X della scuola Y saranno bocciati all'esame di maturità”. P fin da ora è vera o falsa. Nel caso in cui fosse vera, sarebbe quindi determinato con sei anni di anticipo che tre studenti saranno bocciati nel 2015. Un attimo! Questo vuol dire che è già determinato oggi, nel 2009, che nel 2015 tre studenti saranno bocciati? La logica ci dice di sì. Allo stesso tempo, però, siamo intimamente convinti che questa situazione sia inaccettabile.

I fisici si occupano di tante situazioni in qualche modo simili a questa.

Consideriamo il fenomeno della radioattività. Esistono in natura alcuni tipi di nuclei atomici che sono instabili e prima o poi emettono particelle di vario tipo finché si arriva ad avere un nucleo finale stabile. Immaginiamo di avere tanti campioni di nuclei instabili, tutti con lo stesso numero iniziale di nuclei dello stesso tipo.

Possiamo andare a contare quanti nuclei decadono dopo un lasso di tempo ragionevolmente lungo rispetto ai tempi di decadimento dei nostri campioni. Osserviamo che i risultati sono molto diversi: in alcuni campioni sono decaduti pochi nuclei, in altri molti. Ripetendo più volte queste misure si vede che ogni tipo di nucleo instabile ha una certa probabilità di decadere in un dato intervallo di tempo.

In tal modo possiamo sapere che nel prossimo lasso di tempo su 1 miliardo di nuclei di un certo tipo ne decadranno, ad esempio, 100. Preso un nucleo a caso, come facciamo a sapere se è proprio uno di quei 100? La fisica nucleare ci insegna che *non* è assolutamente possibile sapere quando decadrà un dato nucleo radioattivo. Si badi bene, non perché non siamo capaci di farlo ma perché è proprio la natura che è fatta così. La radioattività è un fenomeno *indeterministico*.

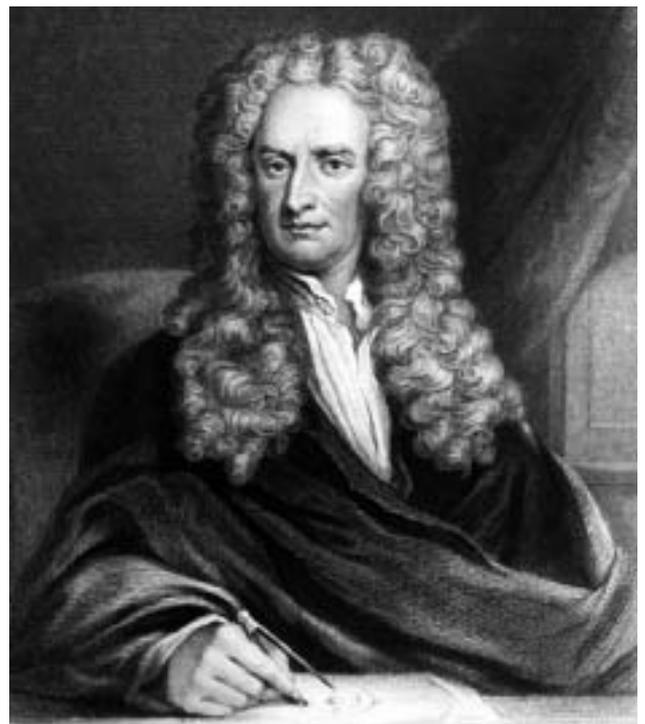
Sia P = “il nucleo n° X decadrà nella prossima ora”. P è vera o è falsa? Per il fisico moderno, P non è né vera né falsa, ma c'è una certa probabilità p che sia vera e una $(1 - p)$ che sia falsa!

Il principio del terzo escluso quindi non vale nella fisica moderna che deve fare i conti con l'indeterminismo.

Una delle leggi fondamentali del mondo microscopico è il *principio di indeterminazione* di Heisenberg. La fisica moderna, nei suoi ragionamenti, richiede quindi l'utilizzo di una logica non classica, una logica *polivalente* in cui, oltre a vero e falso, ci possono essere anche valori intermedi.

Veniamo ora al principio di non contraddizione. Questo principio deve fare i conti con aspetti che riguardano il problema della misura. Un esempio è il gatto di Schrödinger (il fisico che ha scritto l'equazione – basata sulla logica classica! – che regola l'evoluzione nel tempo dei sistemi microscopici). Supponiamo di avere una scatola nella quale è rinchiuso un gatto insieme a un nucleo radioattivo che, decadendo, aziona l'apertura di una fialetta di veleno ad azione istantanea. Nel momento in cui il nucleo decade, il gatto muore. Quando decade il nucleo? Non si sa. (*Guardate che cosa ne pensa Luca Usai a p. 3*) Di conseguenza, finché non si apre la scatola e si osserva, non si sa se il gatto sia vivo o morto. I fisici dicono che nel frattempo il gatto è in una *sovrapposizione* di stati, cioè che sono contemporaneamente possibili le situazioni “il gatto è vivo” e il “gatto è morto”. Sia P = “il gatto è vivo”; la logica dei fisici afferma quindi che la congiunzione P et $\neg P$ non sempre è una proposizione falsa! Ci sono situazioni, quindi, in cui il principio di non contraddizione non vale!

Per ricapitolare, la fisica moderna continua a utilizzare molta matematica che si basa sulla logica classica. Nello stesso tempo, però, in certe situazioni il principio del terzo escluso e il principio di non contraddizione non valgono. Che logica usano allora i fisici? La risposta è che i fisici usano una pluralità di logiche. Ogni problema ne richiede una opportuna. C'è chi parla di *schizofrenia* e chi di bellezza della fisica moderna. A voi la sentenza!



Isaac Newton (1643-1727)