

L'interazione elettromagnetica I (16/11/2011)

Da questo momento in poi, cominceremo a discutere assieme le interazioni e le regole che, all'interno del MS, permettono di calcolare le "trasformazioni" in senso lato degli oggetti, a causa delle interazioni stesse. E qui, consentitemi una premessa.

Qual è lo scopo di ogni scienza, dalla fisica alla psicanalisi (ammesso che sia scienza)? Prevedere il comportamento del sistema in esame. Per la fisica, può trattarsi di una particella (elementare o no) di cui vogliamo conoscere il movimento, la trasformazione in un'altra particella, il combinarsi o il dissociarsi e così via. Per la psicanalisi, il tentativo è ottenere una descrizione dello stato intellettuale del paziente, e trovare il metodo giusto per eliminare blocchi psichici, e così via. Una semplificazione rudimentale di questi concetti è espressa da Laplace nel 1812.

«Possiamo considerare lo stato attuale dell'universo come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro. Un intelletto che a un determinato istante dovesse conoscere tutte le forze che mettono in moto la natura, e tutte le posizioni di tutti gli oggetti di cui la natura è composta, se questo intelletto fosse inoltre sufficientemente ampio da sottoporre questi dati ad analisi, esso racchiuderebbe in un'unica formula i movimenti dei corpi più grandi dell'universo e quelli degli atomi più piccoli; per un tale intelletto nulla sarebbe incerto e il futuro proprio come il passato sarebbe evidente davanti ai suoi occhi.»

Oggi sappiamo che un modo di vedere le cose così ingenuo non risponde al comportamento reale della natura, ma in prima approssimazione può servire a farci capire come, e perché, lo studio delle interazioni è essenzialmente la previsione delle trasformazioni che esse inducono sugli oggetti fisici.

L'interazione elettromagnetica, dunque, è l'argomento di questo salotto (e di altri a seguire). Per cominciare, sarà bene fare un minimo di storia, e capire com'è cresciuto l'elettromagnetismo *classico*, prima di passare a quello *quantistico*. Nel 2006 già ci siamo soffermati a lungo sui primordi; stavolta li ridurremo a poche righe.

Antichi Greci: ambra strofinata (elektròn) e magnetite. Poi tutto tace fino al '700, quando si comincia a giocare con le *macchine a strofinio* che producono alta tensione e scintille, ma corrente pressoché nulla. All'inizio dell'800 compare finalmente la Pila di Volta, che fornisce tensione bassa ma corrente enorme, e i fenomeni elettromagnetici emergono solo lavorando con le correnti. Scienziati di ogni nazione europea portano il loro contributo, e tra il 1840 e il 1850 Faraday giunge a un'importante sintesi sperimentale, talvolta riscoprendo ciò che avevano già scoperto altri, ma elaborando il concetto chiave di "campo". Nel 1865, il fisico e matematico scozzese Maxwell riassume tutti i risultati di Faraday e altri in quattro equazioni, all'interno delle quali è descritto ogni possibile fenomeno elettromagnetico. Dopo il 1905 i fisici, elaborando il concetto di "Potenziale vettore", riescono a sintetizzare queste quattro equazioni in una sola, spaziotemporale.

Nelle equazioni di Maxwell compaiono due costanti universali, che vanno misurate e non possono essere dedotte dalla teoria. Si tratta della *costante dielettrica* e della *permeabilità magnetica* del vuoto, intese come la capacità, da parte del vuoto, di lasciar passare campi elettrici e magnetici. I loro simboli sono, rispettivamente, ϵ_0 e μ_0 . Cosa notevole: esse compaiono come coefficiente moltiplicativo, sotto la forma: $1/\sqrt{\epsilon_0 \times \mu_0} = c$. Di conseguenza, nelle equazioni di Maxwell è presente una velocità, e non in termini *relativi* come sarebbe richiesto dalla Relatività galileiana, ma come valore *assoluto*. Già sappiamo come sia stata questa velocità a innescare tutti i problemi coll'*etere* e poi a condurre alla Relatività speciale, ma in questo momento non c'interessa l'aspetto relativistico; ci concentriamo invece su ϵ_0 .

Ci sono tanti modi possibili di definire la carica elettrica. L'esempio a noi più familiare è dire che la carica del protone vale $+I$, ma storicamente si è imposto il *Coulomb*, che corrisponde a circa $6,24150965 \times 10^{18}$ volte la carica del protone. Potremmo addirittura definire come carica elementare quella del quark up, che è 1/3 di quella protonica, e così via. La cosa da capire è che, secondo come definiamo la carica elettrica di base, dobbiamo aggiustare anche il valore di ϵ_0 e delle altre costanti che entrano nelle equazioni di Maxwell. Esiste, però, una combinazione di costanti universali in cui le varie unità di misura si elidono a vicenda, e viene fuori un numero puro. Un numero che rimane lo stesso,

indipendentemente da come abbiamo definito le cariche. La più semplice combinazione che fornisca un numero puro è: $e^2/(2 \times \epsilon_0 \times h \times c) = 1/137,035.999.084$ che, per comodità, approssimiamo in $\alpha = 1/137$. Si tratta della famosissima “Costante di struttura fine”: uno dei parametri che entrano *dall'esterno* nel MS, e il cui valore numerico, dunque, è un fatto che va preso così com'è, senza che sia possibile *prevederlo* all'interno dello stesso MS. Detto per inciso, α è anche uno dei parametri per mezzo dei quali si costruisce la cosiddetta “Constatazione antropica”.

Per la fisica dell'800, le equazioni di Maxwell rappresentarono un trionfo senza pari, perché consentono di descrivere ogni fenomeno elettromagnetico noto (a parte l'emissione di corpo nero), e non trascuriamo un effetto *psicologico* ma non solo. Esse, infatti, *unificano* fenomeni apparentemente indipendenti l'uno dall'altro, come l'elettricità, il magnetismo, la luce, suppergiù nella stessa linea secondo la quale, nel '700, la gravità newtoniana aveva *unificato* la caduta dei gravi sulla terra e il moto dei pianeti attorno al sole. In questo senso, il concetto di *unificazione* entra a far parte del patrimonio della fisica, fino ai nostri giorni.

Poi, le cose prendono una piega diversa: dal 1926 in poi la MQ era diventata “adulta”, e ormai si usavano le equazioni di Maxwell per calcolare le *forze*, e quella di Schrödinger per calcolare il moto degli elettroni. Era una situazione ibrida e, attorno al 1930, Dirac cercò di mettere assieme le cose aggiungendo pure la Relatività speciale, (solo nel caso degli elettroni) arrivando, tra l'altro, alla previsione dell'esistenza dell'antimateria. Purtroppo, ancora mancava una teoria quantistica generale che, nel caso di statistica su grandi numeri, fornisse gli stessi risultati delle equazioni di Maxwell. Fu questo il lavoro di Feynman, Schwinger, Tomonaga e altri i quali, attorno al 1950, completarono l'*elettrodinamica quantistica*, e cioè la teoria che descrive i processi quantistici i quali, come esito generale, forniscono risultati in accordo con le equazioni di Maxwell. Nel prossimo salotto vedremo il primo diagramma di Feynman, che è la tecnica grafico – matematica sulla quale si basa tutta l'elettrodinamica quantistica, con i suoi punti di forza e quelli di debolezza.

Domanda: perché si aggiunse solo la Relatività speciale, e non anche quella generale? All'epoca, la risposta era puramente fenomenologica: la forza di gravità che si esercita fra un protone e un elettrone è circa 10^{40} volte minore di quell'elettrostatica, e dunque non serve a nulla prendere in considerazione anche tutte le complicazioni che potrebbero derivare dalla necessità di considerare uno spaziotempo curvo. Oggi sappiamo che sarebbe opportuno lavorare anche sulla gravità, ma purtroppo ogni tentativo si frantuma contro impossibilità matematiche o concettuali sulle quali ci soffermeremo brevemente solo dopo aver capito come funzionano le interazioni quantistiche.