

04/11/2015 – Breve ripasso sulle “Forze”

Poniamoci una domanda apparentemente banale: “Cos’è una *Forza*?”

Newton risponde che un oggetto è soggetto a una forza quando accelera. Per la precisione, nella meccanica newtoniana vale la relazione:

$$F = m \times a$$

dove F è, per l’appunto, la forza applicata a un oggetto di massa m , e l’accelerazione risultante è a . Accelerazione che misura il ritmo (la variazione rispetto al tempo, e cioè la derivata temporale) a cui aumenta la velocità v . Più modernamente, Einstein modifica la formuletta poiché, avvicinandosi alla velocità della luce, non solo la velocità, ma anche la massa dell’oggetto aumenta, e perciò la forza viene definita come il ritmo (la derivata rispetto al tempo $\delta/\delta t$) a cui aumenta il prodotto ($m \times v$) detto anche *momento*.

$$F = \delta/\delta t (m \times v)$$

Questo, però, ancora non ci dice nulla su cosa sia davvero una forza; ci permette di misurarla o, conoscendola a priori, di calcolare l’accelerazione, ma nulla di più.

Newton fornì anche la formula per la forza di attrazione gravitazionale F tra due oggetti di massa, rispettivamente, M e m separati da una distanza R :

$$F \propto \frac{M \times m}{R^2}$$

Da quest’ultima formula, conoscendo masse e distanze del Sole e dei pianeti, era facile ricavare i periodi di rivoluzione attorno al Sole e così via. Ma restavano due interrogativi: 1) “Cos’è la *Forza*” e 2) “Come agisce la forza di gravità, se tra il Sole e i pianeti non c’è nulla a *trasmetterla*”.

Newton si focalizzò sulla seconda domanda, e scrisse che lasciava ai lettori l’onere di rispondere. Se ci pensiamo bene e con esempi concreti (lanciare un sasso con la forza muscolare, lanciare un satellite con la forza del razzo vettore, eccetera) l’intuizione ci aiuta a comprendere come si trasmette una *forza a contatto*, ma non riusciamo a capire come si possa esercitare una *forza a distanza*. Su qualunque libro di Fisica si afferma che Einstein risolse il problema dimostrando che una massa deforma lo spaziotempo circostante, e gli oggetti seguono i nuovi *binari* spaziotemporali. È ben vero che la curvatura del tempo, in condizioni di gravità debole, simula la forza newtoniana (la curvatura dello spazio interviene in condizioni di gravità altissima, e di solito si lascia il lettore nell’equivoco), ma il problema non è risolto. È solo spostato: perché una massa curva lo spaziotempo?

Così, scoprendo altre *forze a distanza* come quella elettrica e magnetica, si cominciò a parlare di *Campo* come luogo percorso da *linee di forza*, e di *Interazione* (azione – tra) al posto di *Forza*. Si tratta di un primo passo per comprendere meglio quel che seguirà.

Ora è necessaria una breve *digressione laterale*. Parliamo della *simmetria dello spazio*. Se eseguiamo un qualsiasi esperimento in un luogo o nell’altro dello spazio, a parità di tutte le altre condizioni otterremo lo stesso risultato. Ugualmente, se eseguiamo l’esperimento in un ambiente *in quiete* rispetto a noi, oppure *in moto rettilineo uniforme*. Questi sono concetti che risalgono a Galileo, e non dovrebbero stupirci. In altri termini, *lo*

spazio è simmetrico rispetto a traslazioni. Ebbene: Emmy Noether dimostrò, circa un secolo fa, che a ogni simmetria dello spazio, del tempo, o addirittura di proprietà matematiche *interne* che descrivono un dato sistema (vedremo di più nei prossimi Salotti), corrisponde una quantità fisica che si mantiene costante. Per le traslazioni, si conserva il **momento** ($m \times v$). Questa è la chiave per capire meglio cos'è una Forza. Fine della digressione, e torniamo alle *Interazioni*

Passiamo ai giorni nostri (fine del 2015) e alle quattro **Interazioni fondamentali della natura** finora conosciute. Per ora le elenco soltanto poiché le dovremo rivedere una per una, fino a giungere al **Bosone di Higgs** e oltre (?)

Interazione gravitazionale (+ repulsione cosmica?)

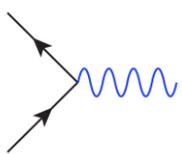
Interazione elettromagnetica

Interazione nucleare “Debole”

Interazione nucleare “Forte”

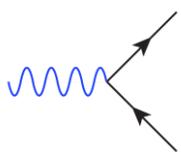
Il **Modello Standard**, ovvero la punta più avanzata della fisica moderna, tratta le interazioni diverse da quella gravitazionale come segue: supponiamo che esistano due particelle p_1 e p_2 immerse nelle *linee di forza* di un *Campo*, tale per cui si respingono tra loro. Banalmente, possono essere due elettroni: poiché entrambi sono dotati di carica elettrica negativa, si respingono senza bisogno di entrare in contatto fisico. Ebbene: osserviamo con cura il diagramma in figura qui sotto.

p_1 è la particella entrante dal basso a sinistra (linea continua con freccia), e si muove verso



destra. A un certo punto essa **emette un Mediatore dell'Interazione alla quale è soggetta** rappresentato dalla linea ondulata. Ma, per la **conservazione del momento**, deve **cedere una parte del suo momento al Mediatore**, e perciò p_1 **rincula verso sinistra**. Finora stiamo sempre parlando di **Forze a contatto** proprio come se, al posto della particella, ci fossimo

stati noi e avessimo lanciato un sasso. Vediamo adesso un secondo diagramma, dove stavolta è p_2 a fare il suo ingresso dal basso a destra, muovendosi verso sinistra. Essa



incappa, però, nel *Mediatore* emesso da p_1 e, assorbendolo, si prende anche la quantità di *momento verso destra* trasportata dal *mediatore*. Di conseguenza, rimbalza verso destra di quanto è necessario a compensare il *momento* perso da p_1 , e così il momento complessivo delle due particelle si conserva, e il Mediatore non c'è più. *Voilà*: abbiamo eliminato le *Forze a*

distanza sostituendole con pure e semplici *Forze a contatto*. Capito il giochino? Ciò che siamo abituati a chiamare *Forza* è solo l'effetto di uno scambio di *momento* (e, come vedremo poi, anche di *energia*) tra due particelle, trasportato dal *Mediatore* dell'interazione generata dal *Campo* (per i due elettroni, il *Mediatore* è il ben noto *fotone*).

Ma il trucco c'è ancora e, a pensarci bene, non abbiamo risolto nulla finché non abbiamo capito per quale motivo esiste un *Campo*. Risposta: perché ci sono in giro **Cariche** di quel campo. E queste da dove vengono fuori? Lo sapremo il prossimo salotto.