

IMPORTANZA DELLA TEORIA DI MAXWELL

La teoria maxwelliana del campo elettromagnetico è una delle più belle teorie della fisica. Sintetizza in quattro semplici e simmetriche equazioni, unite all'espressione della forza di Lorentz, tutte le leggi che governano i fenomeni elettrici e magnetici, includendo anche l'ottica.

Maxwell, usufruendo del lavoro di Faraday, diede una veste matematica appropriata alle idee del fisico sperimentale inglese; fondamentale fu l'introduzione del concetto di **campo**, ente fisico che Faraday aveva già intuito, avendone visualizzato le linee di forza lavorando su campi elettrici e magnetici in numerosi esperimenti.

Il concetto di campo è divenuto essenziale per tutta la fisica teorica successiva. Esso sostituisce l'idea "discreta" di forze e particelle, la cosiddetta "azione a distanza", con il modello di un ente fisico che si propaga nello spazio e nel tempo in modo **continuo**. E' quindi possibile utilizzare equazioni differenziali e integrali per descrivere il campo elettromagnetico, operando su E e B.

Maxwell dà questa veste matematica alle equazioni che portano il suo nome e dimostra che esse sono sufficienti per descrivere tutti i fenomeni elettromagnetici.

Dalle equazioni di Maxwell deriva la previsione teorica dell'esistenza delle **onde elettromagnetiche**, onde che verranno poi studiate sperimentalmente da Hertz, il quale verificherà che esse soggiacciono ai fenomeni tipici ondulatori e ne troverà le principali caratteristiche: esse sono generate dall'oscillazione in fase su piani perpendicolari di un campo elettrico e uno magnetico, presentano il fenomeno della polarizzazione, sono quindi onde trasversali.

Il calcolo della velocità di queste onde conduce al risultato sorprendente che tale velocità coincide con quella della luce, velocità già misurata con vari esperimenti precedenti: sembra quindi assodato, dopo secoli di dibattito, che la luce sia un fenomeno ondulatorio. Essa rientra nello spettro delle onde elettromagnetiche, pertanto l'ottica entra a far parte dell'elettromagnetismo.

La velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto ha un valore teorico preciso: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$.

Tale valore è legato a due costanti universali, del tutto indipendenti dal sistema di riferimento scelto.

Essa è una costante. Non c'è motivo di pensare che tale valore debba modificarsi nel passaggio da un sistema di riferimento ad un altro. Ciò va contro il principio galileiano di additività delle velocità per cui le velocità si sommano nel passaggio da un sistema di riferimento inerziale ad un altro.

In altri termini le equazioni di Maxwell entrano subito in conflitto con la meccanica classica; le equazioni di Maxwell non sono "covarianti" rispetto alle trasformazioni galileiane di passaggio da un riferimento inerziale ad un altro, cioè non risultano formalmente equivalenti nel trasporto da un riferimento ad un altro.

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad \text{Queste sono le trasformazioni di Galilei nel caso di un sistema di riferimento S' che si muova di moto}$$

rettilineo uniforme rispetto ad un riferimento S, con velocità v diretta lungo l'asse x.

Si può verificare che la legge $F = ma$ assume la stessa forma nel passaggio da un riferimento ad un altro secondo queste equazioni.

Ciò non accade per le equazioni di Maxwell.

I fisici del tempo si trovarono allora a dover decidere se fosse errata la teoria di Maxwell o la meccanica newtoniana, pilastro di tutta la fisica allora nota per due secoli. Molti cercarono di apportare modifiche alle equazioni di Maxwell ricavandone anche previsioni di fenomeni elettrici inesistenti.

Il fisico **Lorentz** trovò delle trasformazioni rispetto alle quali le equazioni di Maxwell fossero invarianti, trasformazioni che conservavano costante la velocità della luce nel passaggio da un riferimento ad un altro.

Fu però Albert **Einstein** che, partendo dal tentativo di restituire simmetria (tutta la fisica di Einstein è all'insegna di una ricerca estetica) ad alcuni fenomeni elettromagnetici, giunse a formulare la **Teoria della Relatività ristretta** (1905), teoria in cui l'elettromagnetismo di Maxwell viene rispettato nei suoi risultati e le trasformazioni di Lorentz trovano un loro fondamento teorico e un significato fisico profondo e coerente. La teoria di Einstein va però necessariamente "contro" la meccanica newtoniana che ne diviene un caso limite per basse velocità. Basta osservare le equazioni di Lorentz per capire come diventi necessario riformulare i concetti di spazio e di tempo, che non sono più due enti assoluti e distinti, ma divengono strettamente connessi; essi danno luogo ad un unico ente fisico detto "spazio-tempo". Muore lo spazio come contenitore inerte di eventi, e così il tempo "vero, assoluto, matematico" di Newton.

$$\begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{cases} \quad \text{Le coordinate temporali e spaziali si influenzano a vicenda nel passaggio da un riferimento ad un altro.}$$

Si noti che per velocità v molto minori di c, si torna alle equazioni classiche galileiane.

I postulati della relatività ristretta sono due: 1) La velocità della luce è costante, 2) Le leggi della fisica sono equivalenti in tutti i sistemi di riferimento inerziali. Le trasformazioni per passare da un riferimento ad un altro sono quelle di Lorentz.

I risultati della relatività ristretta comprendono la contrazione delle lunghezze, la dilatazione dei tempi, l'equivalenza famosa tra massa ed energia. Einstein, però, non si accontenta e undici anni più tardi (1916) porta a compimento la **Teoria della Relatività generale**, in cui abbandona l'idea limitante di sistema di riferimento inerziale per rendere equivalenti le leggi fisiche in tutti i sistemi di riferimento. Ciò lo porta a elaborare una teoria dove gravitazione e geometria dello spazio-tempo diventano tutt'uno.