2 L'esperimento di Michelson-Morley

Le equazioni dell'elettromagnetismo di Maxwell contengono esplicitamente la velocità della luce nel vuoto $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ e non sono quindi invarianti rispetto alle trasformazioni di Galileo. Nella visione classica, la luce ha velocità c nel sistema di riferimento solidale con il mezzo nel quale la luce stessa si propaga (*etere*) e avrà di conseguenza velocità diversa in qualsiasi sistema di riferimento che si muova rispetto all'etere. Per individuare il sistema di riferimento solidale con l'etere, nel quale la luce avesse proprio velocità c, e verificare la variazione della velocità della luce dovuta al movimento della Terra rispetto ad esso, sono stati eseguiti diversi esperimenti il più importante dei quali è l'esperimento di Michelson-Morley (1887).

L'apparato sperimentale, schematizzato in figura 1, è un interferometro nel quale la luce emessa da una sorgente attraversa uno specchio semiriflettente nel punto B. Parte della luce viene riflessa verso C in direzione perpendicolare alla direzione del moto della Terra lungo la sua orbita e parte continua a viaggare lungo la direzione BE parallela a quella del moto della Terra. Le due componenti vengono riflesse dagli specchi in C e in E e si ricongiungono in B per poi venir raccolte su uno schermo dove eventuali differenze di fase danno luogo a frange di interferenza. Sia L la distanza tra il punto B e gli specchi in C ed E.

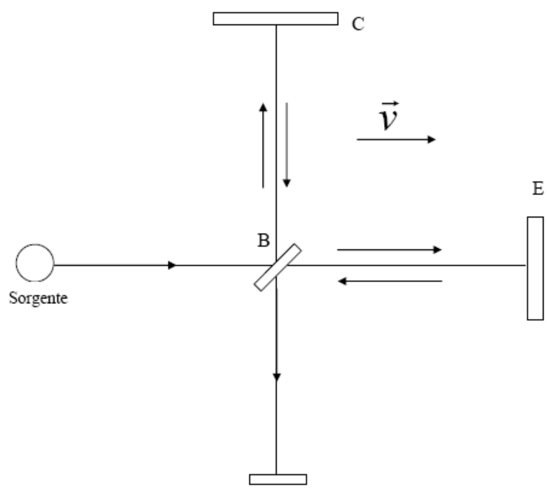

Figura 1: Schema dell'apparato sperimentale di Michelson e Morley.

Supponendo che l'apparato sperimentale e la Terra si muovano con velocità $\overrightarrow{v}$ rispetto all'etere, lo spazio percorso dalla luce per andare dal punto B al punto E è la lunghezza L aumentata della distanza percorsa dallo specchio in E nel tempo impiegato dalla luce per raggiungerlo: $ct_1 = L + vt_1$. Per tornare indietro invece la luce percorre uno spazio minore $ct_2 = L - vt_2$.

$$t_1 + t_2 = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2} = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2} \tag{2}$$

La velocità della luce rispetto all'apparato è infatti, secondo le trasformazioni di Galileo, $(c - v)$ andando da B a E e $(c + v)$ andando da E a B. Inoltre se $v << c$ si ha $t_1 + t_2 \simeq 2L/c$.

Analogamente lo spazio percorso dal secondo raggio di luce per andare da B a C (in un tempo che chiamiamo t_3) è dato da:

$$ct_3 = \sqrt{L^2 + (vt_3)^2} \tag{3}$$

e per simmetria la luce torna indietro da C a B nello stesso tempo t_3. Complessivamente quindi la luce viaggia per un tempo:

$$2t_3 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{4}$$

Quindi, se v non è nulla, il tempo che la luce impiega per andare da B e E e ritorno risulta maggiore del tempo necessario per andare da B a C e ritorno $(t_1 + t_2 - 2t_3 > 0)$. Sperimentalmente però le frange di interferenza osservate erano sempre le stesse, sia ruotando l'apparato di 90^o sia effettuando la misura in diversi periodi dell'anno. Tra le diverse interpretazioni, la soluzione avanzata da Lorentz prevedeva che un oggetto in moto si contraesse lungo la direzione del moto stesso di un fattore $\sqrt{1 - v^2/c^2}$; secondo questa ipotesi la lunghezza del braccio BE è minore della lunghezza di BC e:

$$2t_3 = \frac{2L_{BC}}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{2L_{BE}}{c} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2} = t_1 + t_2 \tag{5}$$

Le trasformazioni di Lorentz, generalizzazione di questa ipotesi, saranno introdotte nel paragrafo successivo.