

18. Principi della teoria della relatività ristretta

1 Origine e motivazione della teoria

Nel libro di Born è ben descritta l'evoluzione delle idee riguardo alla natura della luce da Newton a Maxwell. Qui ci limitiamo a sottolineare alcuni aspetti utili per introdurre la teoria della relatività.

La contrapposizione tra i punti di vista corpuscolare ed ondulatorio si risolve, nel corso dell'Ottocento, a favore del secondo. Gli esperimenti di Young dimostrano che la luce mostra il fenomeno dell'interferenza, un tipico fenomeno ondulatorio. La sintesi di Maxwell mostra inoltre che la luce è un'onda elettromagnetica. In analogia con le onde in un mezzo elastico, si ipotizza che le onde elettromagnetiche si propagano in un mezzo impalpabile, denominato etere. Nello stesso modo in cui le onde sonore sono oscillazioni del mezzo in cui il suono si propaga, così le onde elettromagnetiche sono oscillazioni dell'etere.

La velocità del suono è la velocità di un'onda sonora rispetto al mezzo, ad esempio, l'aria. Se sono fermo rispetto all'aria, osservo appunto tale velocità. Se invece mi muovo rispetto all'aria, percepisco il suono con una velocità diversa. Infatti se il suono si propaga rispetto all'aria con velocità c nella direzione delle x positive ed io mi muovo con velocità v nella direzione delle x positive, la velocità del suono percepita è

$$c' = c - v. \quad (1)$$

La (1) è la regola classica per la composizione delle velocità. Se la luce si trasmette nell'etere come il suono nell'aria deve essere possibile ideare un esperimento per verificare questo fatto. L'etere pervade tutto lo spazio e quindi la terra si muove rispetto all'etere. Di conseguenza la velocità della luce che misuriamo sulla terra deve essere la composizione della velocità della luce rispetto all'etere e di quella della terra rispetto all'etere, esattamente come nella (1). L'esperimento di Michelson e Morley si propose appunto di verificare la validità della (1) per la luce. Tale esperimento ebbe risultato nullo nel senso che la velocità della luce è sempre la stessa indipendentemente dal moto dell'osservatore. Tale risultato indica che la legge di composizione (1) delle velocità non vale nel caso della luce. L'analisi di Einstein ha chiarito che la validità della (1) si fonda su ipotesi teoriche non supportate dall'esperienza e pertanto la (1) va modificata. Tale analisi è la teoria della relatività.

2 Analisi del concetto di simultaneità

Al cuore dell'analisi di Einstein vi è il concetto di simultaneità. Tale concetto è necessario per introdurre il concetto di misura del tempo. Dico che un evento accade al tempo t , se, simultaneamente, accade l'evento e il mio orologio segna il tempo t . Sottolineamo che in questo caso i due eventi, cioè l'evento in oggetto e il fatto che l'orologio segni un certo tempo, accadono nello stesso luogo. Dunque non c'è problema ad affermare la

simultaneità di due eventi che accadono nello stesso luogo. Diverso è il caso di eventi che accadono in luoghi diversi. È chiaro che devo stabilire una procedura per affermare se due eventi in luoghi diversi sono simultanei oppure no. Einstein conclude che la simultaneità di due eventi che accadono in luoghi diversi non è assoluta, ma relativa ad un particolare sistema di riferimento.

Per chiarire il concetto di simultaneità seguiamo l'esempio del libro di Born. Immaginiamo un rimorchiatore che traina alcune navi come schematizzato in figura 1.

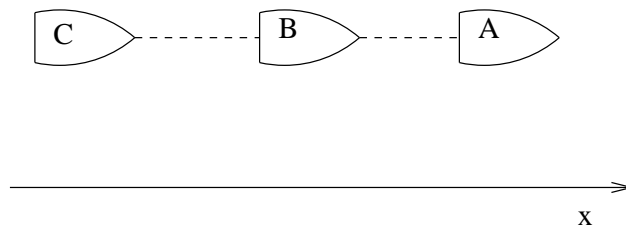


Figura 1: Un rimorchiatore (A) traina una serie di navi, indicate con (B), (C), etc.

Supponiamo che A, B, e C vogliano sincronizzare gli orologi. Quando l'orologio di A segna $t = t_0$, A emette un suono. B percepisce il suono con un ritardo, dovuto al tempo di propagazione. Se l è la distanza tra A e B e c è la velocità del suono, allora B percepisce il suono ad un tempo $t = t_0 + l/c$, nell'ipotesi che A e B siano fermi rispetto all'aria. La procedura per B è quella di mettere l'orologio al tempo $t = t_0 + l/c$ non appena sente il suono emesso da A. Supponiamo ora che A e B si muovano con velocità v . B sente il suono al tempo $t = t_0 + l/(c+v)$ ¹, cioè prima di quanto avveniva nel caso in cui A e B erano fermi rispetto all'aria. Se B ignora il fatto di essere in moto ed insiste nel mettere l'orologio al tempo $t = t_0 + l/c$ può ovviamente farlo. Adesso però immaginiamo di avere A e B fermi rispetto all'aria, mentre A' e B' sono in moto. Supponiamo che ad un dato istante A e A' come B e B' sono allineati come mostrato in figura 2.

Supponiamo che quando A' passa accanto ad A sincronizzi il suo orologio con quello di A. Sia questo il tempo t_0 . A questo tempo A e A' emettono un suono per permettere agli orologi di B e B' di sincronizzarsi. Per quanto detto prima, gli orologi di B e B' sentono il suono a tempi diversi, la cui differenza è

$$\Delta t = \frac{l v}{c^2} \frac{1}{1 + v/c}.$$

Dunque se B e B' sincronizzano gli orologi all'udire il suono, segnaranno tempi diversi. Questa discrepanza di tempi può essere corretta conoscendo la velocità delle barche rispetto all'aria. In altre parole, l'esistenza del mezzo di propagazione fornisce un riferimento assoluto. Nel caso della luce non esiste un mezzo che possa svolgere il ruolo di

¹Sia τ il tempo impiegato dal suono per andare da A a B. In questo tempo il suono percorre la distanza tra le due navi meno la distanza, che in questo stesso tempo, B percorre. Allora si ha $l - v\tau = c\tau$, da cui il tempo menzionato nel testo.

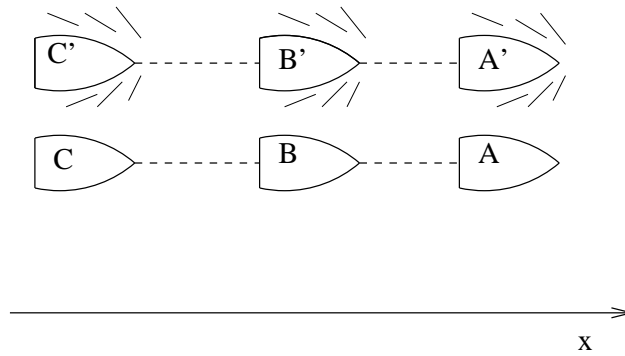


Figura 2: Le navi (A), (B), (C) sono ferme rispetto all'acqua ed all'aria, mentre le navi (A'), (B'), (C') si muovono con velocità v .

riferimento assoluto. Ogni sistema in moto uniforme è equivalente. Segue che, usando segnali luminosi per sincronizzare gli orologi, possiamo definire solo una simultaneità relativa. Quindi il tempo può essere definito solo in modo relativo ad un dato sistema di riferimento. Einstein pone quindi alla base della sua teoria due postulati:

- 1) Principio di relatività, cioè tutti i sistemi in moto relativo uniforme sono equivalenti.
- 2) La velocità della luce, c , è indipendente dal moto del sistema di riferimento.