

## La dilatazione del tempo.

Si ponga un orologio nell'origine del sistema di riferimento  $O'$ : le sue coordinate spazio-temporali saranno ( $x'=0, y'=0, z'=0, t'$ ). Utilizzando le trasformazioni di Lorentz per il tempo:

$$t = \gamma t' + \gamma \frac{V x'}{c^2}$$

e sostituendo  $x'=0$ , si ottiene,

$$t = \gamma t'$$

ovvero

$$t' = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} t$$

Si deduce quindi che lo stesso intervallo di tempo misurato da  $O$  è maggiore di quello misurato da  $O'$ : il tempo su  $O'$  è dilatato e gli orologi e tutti i fenomeni fisici solidali con  $O'$  appaiono rallentati se vengono osservati da  $O$ .

Vediamo un esempio. Se  $O'$  si muove a  $9/10$  della velocità della luce ( $V=0,9c$ ), quando per  $O$  è trascorso  $t=1$  s, per  $O'$  è trascorso solamente  $t'=0,436$  s!

Naturalmente se l'osservatore  $O'$  osserva un cronometro posto in  $O$ , conclude che è il cronometro  $O$  che marcia più lentamente del suo. Perciò, si può dire che ogni osservatore troverà che un orologio in moto va più adagio di un orologio identico stazionario nel proprio sistema di riferimento. Questo risultato è valido anche per qualunque fenomeno fisico o biologico, che risulterà rallentato se osservato da un sistema di riferimento in moto relativo rispetto ad esso.

## La relatività della simultaneità.

Nella nostra esperienza quotidiana ci siamo abituati a considerare che tutti gli eventi si svolgano nel tempo in modo ordinato e regolare: esiste un passato, un presente e un futuro, e possiamo sempre stabilire se un evento ha preceduto o seguito un altro evento o se i due eventi sono accaduti simultaneamente. Ma Einstein ha dimostrato che nel mondo relativistico non esiste una distinzione netta fra il passato e il futuro: eventi che sembrano avvenire in una certa successione secondo un osservatore possono sembrare avvenire in una

successione affatto diversa a un osservatore in moto rispetto al primo. È forse il risultato più sorprendente della teoria di Einstein, ma è facile dimostrare che questa conclusione è una semplice e diretta conseguenza della costanza della velocità della luce.

Per dimostrare che il tempo è un concetto relativo, si consideri il seguente esempio (dovuto a Einstein). Nella figura 1a un osservatore  $O$  vede due fulmini colpire le estremità di una carrozza ferroviaria in moto, proprio quando il punto medio della carrozza lo oltrepassa. Poiché gli estremi della carrozza sono equidistanti dall'osservatore,  $O$  vede simultaneamente i lampi di luce. L'osservatore  $O'$  si trova nel punto medio della carrozza.  $O$  sa che  $O'$  si muove verso il lampo di luce emesso in  $B$  e si allontana dal lampo di luce emesso in  $A$ . Perciò,  $O$  conclude che il lampo  $B$  raggiungerà  $O'$  prima che il lampo  $A$  raggiunga  $O'$ . Ma  $O'$  è un osservatore stazionario in un sistema di riferimento inerziale (la carrozza ferroviaria) e sa che entrambi i lampi di luce viaggiano con velocità  $c$  nel suo sistema di riferimento. Poiché  $O'$  è equidistante dai due estremi della carrozza e poiché il lampo proveniente da  $B$  lo raggiunge per primo (fig. 1b), egli conclude che il lampo  $B$  dev'essere avvenuto prima del lampo  $A$ . Perciò, due eventi che sembrano simultanei nel sistema di riferimento  $O$  non sembrano tali nel sistema  $O'$ , perché i due sistemi si muovono l'uno rispetto all'altro.

Se  $O$  avesse visto il fulmine colpire  $A$  un po' prima che il fulmine colpisse  $B$ , egli avrebbe visto  $A$  precedere  $B$  mentre  $O'$  avrebbe continuato a vedere  $B$  precedere  $A$ . Quindi i due osservatori avrebbero visto gli eventi succedersi nell'ordine opposto; "passato" e "futuro" si sarebbero scambiati. Si rilevi, però, che  $O$  non può informare  $O'$  dell'evento che avverrà nel suo futuro (il lampo emesso da  $A$ , che  $O'$  vede dopo il lampo emesso da  $B$ ) perché le informazioni possono essere trasmesse con la velocità massima  $c$ . Perciò, il messaggio di  $O$  verrebbe ricevuto solo dopo che  $O'$  ha rilevato il verificarsi dell'evento. Sebbene la successione temporale di eventi visti da differenti osservatori dipenda dalla velocità relativa di questi ultimi, la legge fisica di causa ed effetto dev'essere ancora valida nel mondo relativistico; nessun osservatore (qualunque sia il suo stato di moto) può rilevare un evento che è un effetto prima di un evento che è la causa del primo evento.

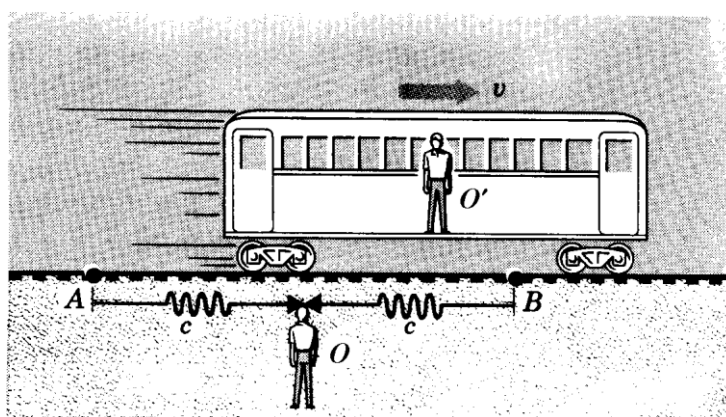
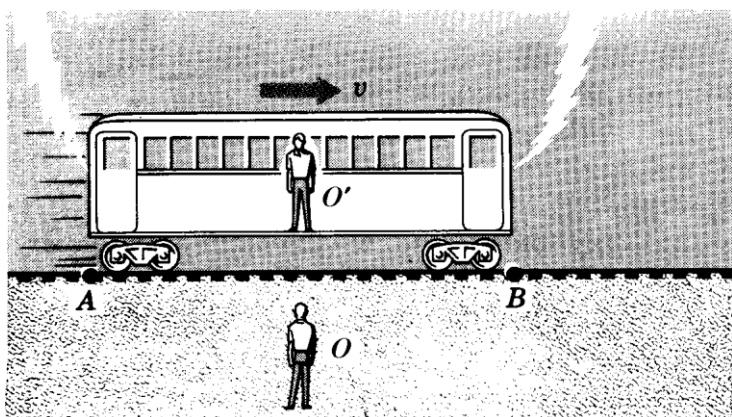


Figura 1. L'osservatore  $O$  vede due fulmini colpire gli estremi della carrozza ferroviaria simultaneamente. Ma l'osservatore  $O'$ , il quale si muove verso il fulmine di destra con velocità  $V$ , vede il fulmine di destra colpire per primo la carrozza.