

# Non riesco a capire per quale motivo non sia possibile superare la velocità della luce. Potete aiutarmi? Grazie

## 1 Risposta (Gaetano Vilasi)

La formulazione newtoniana della Dinamica è basata su tre Principi:

- **Il Primo Principio della Dinamica o Principio di Relatività<sup>\*</sup> di Galilei**

*Esistono speciali osservatori rispetto ai quali una particella non soggetta a forze si muove di moto rettilineo.*

- Un tale osservatore è detto osservatore inerziale o riferimento inerziale. Egli può definire il “tempo” in modo che il moto appaia anche uniforme.
- Ogni osservatore che si muove di moto rettilineo e uniforme rispetto ad un osservatore inerziale è a sua volta inerziale.

- **Il Secondo Principio della Dinamica**

*In un riferimento inerziale, quando il tempo è stato scelto come prima specificato, il moto di una particella obbedisce alla Seconda Legge della Dinamica:*

$$m \vec{a} = \vec{F}.$$

---

<sup>\*</sup> *Inoltre, è lecito aspettarsi che, qualunque grado di velocità si trovi in un mobile, gli sia per sua natura indelebilmente impresso, purchè siano tolte le cause esterne di accelerazione e di ritardamento; il che accade soltanto nel piano orizzontale; infatti nei piani declivi è di già presente una causa di accelerazione, mentre in quelli acclivi di ritardamento; infatti, se è equabile, non scema o diminuisce, ne tanto meno cessa. (G. Galilei, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, Terzo giorno).*

Newton era consapevole che le conclusioni di Galilei potevano essere vere solo approssimativamente, ma egli era molto impressionato dall'esistenza di numerosi trasformazioni di coordinate e quindi di osservatori per i quali la descrizione di Galilei non era verificata. Allora, egli elevò la scoperta empirica di Galilei al ruolo di principio rigoroso, il *Principio di Inerzia*, è stabile che i corpi assolutamente liberi si muovono in un riferimento inerziale ideale con velocità perfettamente costanti e lungo traiettorie perfettamente rette.

*Absolute space, in its own nature and with regard to anything external, always remains similar and unmovable. Relative space is some movable dimension or measure of absolute space, which our senses determine by its position with respect to other bodies, and is commonly taken for absolute space.*

- Nella formula precedente  $m$  denota la massa della particella,  $\vec{a}$  la sua accelerazione e  $\vec{F}$  la forza che agisce sulla particella.
- E' una osservazione sperimentale che le forze agenti su una particella possono cambiare con il tempo  $t$ , la posizione  $\vec{r}$  e la velocità  $\vec{v}$  della particella.

• **Il Terzo Principio della Dinamica**

*In un riferimento inerziale, quando il tempo è stato scelto come prima specificato, l'impulso totale  $\vec{P}$  e il momento angolare totale  $\vec{L}$  di un sistema isolato di particelle non cambiano nel tempo.*

Molti libri di testo commentano che il Primo Principio è un caso particolare del Secondo perché può essere dedotto da questo considerando il caso in cui qui la forza agente sulla particella è nulla. Così espresso, il commento è sbagliato perché per poter formulare il Secondo Principio occorre far ricorso al Primo Principio. In realtà, il commento suggerisce che la distinzione tra cinematica e dinamica è artificiale e che i sistemi inerziali possono essere definiti solo dinamicamente come ha poi mostrato la Teoria Generale della Relatività di Einstein.

Come abbiamo visto, il Principio di Relatività di Galileo gioca un ruolo cruciale nella formulazione delle Leggi della Dinamica e diviene allora naturale domandarsi come due osservatori inerziali possano confrontare i risultati delle loro misure. In altre parole, quali sono le trasformazioni che connettono due riferimenti inerziali in moto (uniforme) l'uno rispetto all'altro con velocità  $\vec{u}$ ?

Dal Principio di Relatività segue che se in un riferimento inerziale  $S$  una particella è osservata muoversi di moto rettilineo uniforme e quindi con accelerazione nulla, tale dovrà apparire il moto in un secondo riferimento inerziale  $S'$  in moto rettilineo uniforme con velocità  $\vec{u}$  rispetto al primo. Denotando con  $\vec{r}$  ed  $\vec{r}'$  le coordinate nei due riferimenti e con  $t$  e  $t'$  i tempi misurati nei due riferimenti la più generale trasformazione invertibile\*\* tra i due riferimenti è la trasformazione galileiana

$$\vec{r}' = \vec{r} + \vec{u}t.$$

---

\*\*Da un punto di vista matematico ci si può domandare qual è il gruppo di trasformazioni nello spazio-tempo (affine) newtoniano che muta rette in rette. A questa domanda fu data risposta completa da Sophus Lie, famosissimo matematico vissuto nel secolo scorso.

### 1.1 Legge galileiana di composizione delle velocità

Dalla precedente relazione segue che se in  $S$  si osserva una particella muoversi di moto rettilineo uniforme con velocità  $\vec{v}$ , nel riferimento  $S'$  la particella apparirà muoversi di moto rettilineo uniforme con velocità  $\vec{v}'$  data da

$$\vec{v}' = \vec{v} + \vec{u}$$

Nel dedurre la precedente relazione è stato implicitamente assunto che il tempo scorre uniformemente per i due osservatori e cioè che esso ha un carattere assoluto indipendente dall'osservatore.

La legge di composizione delle velocità traduce il fatto a noi familiare che se un passeggero si muove (di moto rettilineo uniforme) in una carrozza ferroviaria alla velocità di  $5 \text{ Km/h}$  rispetto al treno, che a sua volta si muove (di moto rettilineo uniforme) alla velocità di  $100 \text{ Km/h}$  rispetto alla stazione ferroviaria, la velocità del passeggero rispetto alla stessa stazione sarà di  $105 \text{ Km/h}$ .

In altre parole, la velocità di un proiettile dipende dal moto della sorgente (rivoltella) e, rispetto alle pareti della carrozza di un treno in moto rettilineo uniforme, sarà la stessa sia che esso sia sparato nel verso del moto del treno che nel verso opposto. Facendo ricorso a una immagine cruenta, in un fantomatico duello tra due passeggeri posti agli estremi della carrozza e muniti di rivoltelle identiche, i proiettili raggiungeranno il bersaglio contemporaneamente.

### 1.2 Lo strano comportamento della luce

La luce non si comporta in questo modo perché a differenza del caso precedente la sua velocità <sup>\*\*\*</sup> non dipende dal moto della sorgente. Questa strana proprietà fu dedotta dapprima dalla cronaca (redatta dagli astronomi cinesi nel 1096) della esplosione di una supernova avvenuta nel 1054 nella nebulosa del Granchio (nella Costellazione del Toro) e poi stabilita con misure astronomiche (O. Römer 1676) e di laboratorio dirette.

Pertanto, a prima vista, il moto della luce sembra contraddire il principio galileiano di relatività del moto perché la sua velocità ha un carattere assoluto indipendente dal riferimento.

---

<sup>\*\*\*</sup> La velocità della luce è di circa  $300.000 \text{ Km/s}$ . Si tratta di un valore fantastico se si riflette che in un solo secondo la luce percorre la distanza da Napoli a Firenze e ritorno ben 300 volte!

Le leggi della natura non possono essere decise ricorrendo al puro ragionamento: arbitra suprema di ogni teoria fisica è sempre l'esperienza. L'esperimento di Michelson e Morley (1887) fu effettuato proprio per stabilire se o no il principio di relatività del moto valesse anche per il moto della luce.

L'esperimento usò, come "treno" in cui effettuare le misure, la terra nel suo moto di rivoluzione intorno al sole, considerando che per intervalli brevi di tempo la traiettoria può, con buona approssimazione, essere ritenuta rettilinea ed il moto uniforme.

L'esperimento stabilì senza ombra di dubbio che il principio di relatività del moto vale anche per la luce, dando origine alla inaccettabile contraddizione logica:

Il principio galileiano di relatività del moto si estende anche al moto della luce la cui velocità ha però... un valore assoluto!

La contraddizione fu dibattuta per diciotto anni circa e poi risolta da Einstein con la sua mirabile Teoria della Relatività (Speciale) che si avvale anche dei contributi di H. Lorentz, H. Minkowski e H. Poincaré. Essa nasce dall'assumere assoluto il tempo ed in particolare che eventi simultanei per un osservatore inerziale lo sono anche per altri osservatori inerziali.

### *1.3 Conclusioni*

In conclusione, gli esperimenti stabiliscono che:

- la velocità della luce ha un valore assoluto indipendente dal moto della sorgente;
- vale il Principio di Relatività per il moto della luce.

Come conseguenza, si desume che il tempo non scorre in modo uniforme per tutti gli osservatori e la simultaneità di due eventi non ha un carattere universale per tutti gli osservatori inerziali

Da ciò discende pure che

- deve esistere un limite superiore alla velocità di trasmissione dei segnali, altrimenti la simultaneità avrebbe un carattere universale.
- che tale limite, per il Principio di Relatività deve essere a sua volta universale, deve essere, cioè, lo stesso per tutti gli osservatori inerziali.

La velocità della luce, guarda caso, è universale e non dipende dal moto della sorgente; essa costituisce perciò il limite superiore alla velocità di trasmissione

dei segnali.