

Giovanni Liveri

Relatività ristretta

Brevi lezioni per
cominciare

Relatività ristretta

**Brevi lezioni per
cominciare**

Giovanni Liveri

Relatività ristretta- Brevi lezioni per cominciare

I edizione digitale © 2016

Copyright © 2016- Giovanni Liveri. Tutti i diritti riservati

E mail: giovanniliveri@libero.it

Brevi lezioni di Elettronica, Fisica e Matematica

Sommario

Relatività ristretta

Brevi lezioni per cominciare

Brevi lezioni di Elettronica, Fisica e
Matematica

Lezione 1

Introduzione

Lezione 2

La Natura non riserva trattamenti
preferenziali!

Lezione 3

La velocità della luce è costante.

Lezione 4

Il tempo si contrae ad elevate velocità.

Lezione 5

I viaggi nello spazio rallentano
l'invecchiamento!

Lezione 6

Le lunghezze si accorciano alle alte velocità.

Lezione 7

Materia ed energia sono equivalenti: $E=mc^2$

Lezione 8

Materia + Antimateria: un Boom assicurato!

Lezione 9

Il Sole sta pian piano perdendo massa!

Lezione 10

Non si può superare la velocità della luce!

Lezione 11

Newton aveva ragione!

Lezione 1

Introduzione

La teoria della Relatività ristretta di Einstein rappresenta uno dei raggiungimenti scientifici più straordinari degli ultimi secoli, per non dire dell'intera storia dell'umanità. Comprenderla, molto spesso implica una vera e propria sfida nei confronti di quanto risulterebbe altrimenti ovvio e scontato in condizioni "classiche" di accadimento. È per tale motivo che, all'interno di questo libro, verranno presentati dieci straordinari aspetti fisici di tale teoria. Informazioni che, ad ogni modo, non è possibile definire "dati di fatto", perché ogni cosa in fisica

potrebbe essere un giorno smentita. C'è da dire , però, che la teoria della Relatività ristretta è stata ad oggi testata in migliaia di modi, e tutte le volte è rimasta elegantemente sul pezzo. La teoria fornisce diversi spettacolari punti di riflessione, come ad esempio l'affermazione che materia ed energia possano essere convertiti l'una nell'altra, come descritto dalla, probabilmente, più celebre equazione fisica di tutti i tempi:

$$E = mc^2$$

Sarà altresì possibile realizzare come il tempo si dilati e la lunghezza si restringa in corrispondenza di velocità prossime a quella della luce. In definitiva, dopo

aver letto e digerito il pensiero di Einstein, le vostre idee di tempo e spazio non potranno più essere quelle di una volta!

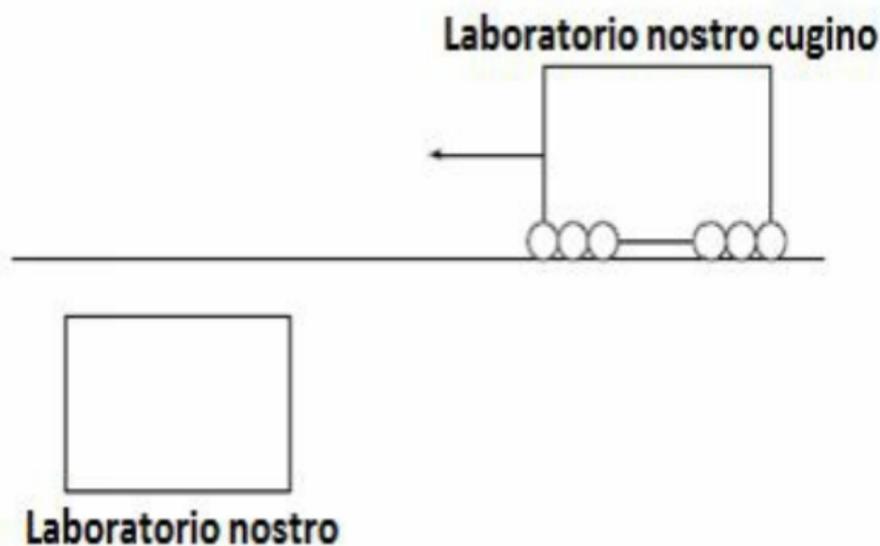
Lezione 2

La Natura non riserva trattamenti preferenziali!

Einstein affermò tanto tempo fa che le leggi della fisica fossero esattamente le stesse per ogni sistema di riferimento inerziale. All'interno di un sistema di riferimento inerziale, qualora la forza netta applicata su un oggetto sia pari a zero, l'oggetto stesso rimarrebbe fermo o si muoverebbe con una rapidità costante. Non esisterebbero altre alternative. In altri termini, un sistema di riferimento inerziale è un sistema di riferimento con accelerazione pari a zero. Semplicemente si applica la Legge di Newton per l'inerzia: ovvero un

corpo a riposo rimane a riposo, oppure un corpo che si muova di moto costante continuerebbe a farlo. Semplici esempi di sistemi di riferimento non inerziali possono essere i sistemi che ruotano, i quali possiedono quindi un'accelerazione centripeta netta, o in generale i sistemi dotati di accelerazione. Ciò che essenzialmente affermò Einstein fu che un sistema di riferimento inerziale è tanto buono quanto ogni altro quando si stia parlando di leggi della fisica. La Natura non riserva trattamenti preferenziali fra i sistemi di riferimento. Ad esempio, ipotizziamo di trovarci all'interno di un laboratorio e di star effettuando degli esperimenti scientifici.

Contemporaneamente, immaginiamo che un nostro caro cugino si trovi all'interno di un laboratorio mobile, che in effetti si sta muovendo, e che stia portando avanti i medesimi nostri esperimenti. Insomma, qualcosa del genere:



Nessuno dei due, noi e nostro cugino, potrà notare alcuna differenza nelle leggi

della fisica. Nessun esperimento ci permetterà di distinguere fra un sistema di riferimento inerziale a riposo e uno che si stia muovendo.

Lezione 3

La velocità della luce è costante.

Confrontare delle velocità mentre si è in movimento, è già enormemente arduo quando ad esempio ci si trovi in macchina e si stia sfrecciando in autostrada. Proviamo un poco ad immaginare quanto difficile possa diventare quando ci si cali in un contesto di oggetti che si muovano alla velocità della luce. Per la maggior parte delle persone, il fatto che la velocità della luce sia costante, indipendentemente da quanto velocemente stia procedendo chi la stia misurando, è un qualcosa di realmente inatteso. Immaginiamo, ad

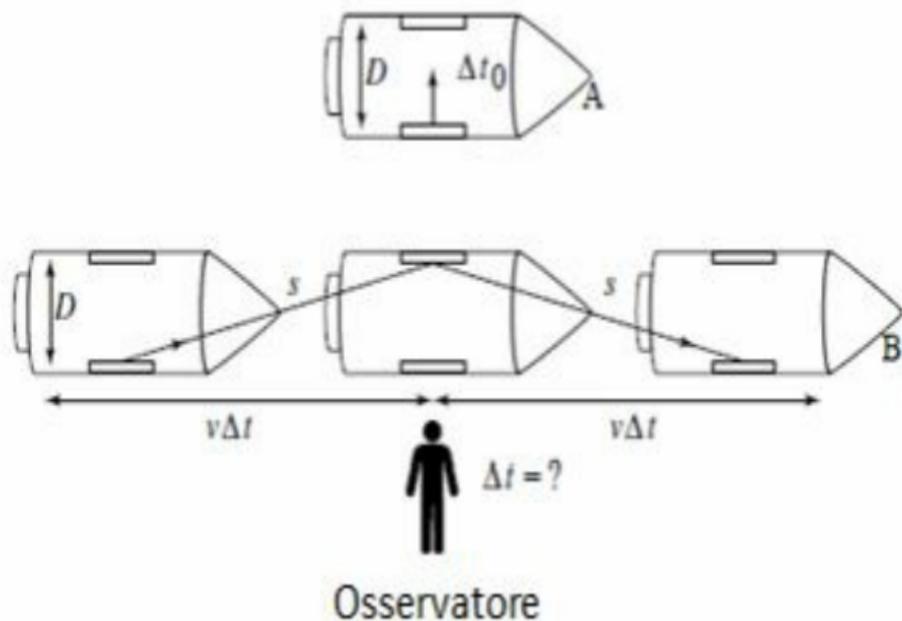
esempio, che sempre il nostro ipotetico caro cugino, il quale viaggia a bordo di una comoda utilitaria, finisca di sorseggiare il suo drink e getti, sconsideratamente, il calice da cui ha bevuto fuori dal finestrino nella nostra direzione. Il calice potrebbe non star viaggiando così rapidamente rispetto al nostro ipotetico cugino, diciamo ad esempio a 5m/s , ma qualora il sistema di riferimento inerziale di nostro cugino si stia muovendo, rispetto a noi, con una rapidità di 30m/s , il calice ci colpirà in faccia con tale ultima ulteriore rapidità aggiunta: ovvero 35m/s . Ciononostante, la luce ci investirà sempre e comunque ad una rapidità di circa $299,792,458\text{ m/s}$.

Lezione 4

Il tempo si contrae ad elevate velocità.

Immaginiamo di star fissando un bel cielo stellato e di scorgere un razzo sfrecciare in mezzo al cielo immenso. La teoria della Relatività ristretta di Einstein afferma che il tempo misurato da un osservatore, con i piedi ben saldi a Terra, per eventi che accadono a bordo del nostro ipotetico razzo è maggiore di quello misurato da un eventuale astronauta, ovviamente a bordo del razzo stesso. In altri termini, il tempo si dilata, ovvero si “espande”, considerato dal punto di vista di noi semplici osservatori con i piedi ben

adesi al suolo terrestre. Per capire come tutto ciò funzioni, osserviamo la seguente figura:



Nel diagramma A consideriamo che sia presente a bordo del razzo un aggeggio speciale in grado di far rimbalzare un raggio di luce avanti e indietro fra una coppia di specchi montati sulle pareti

opposte del razzo ad una distanza D l'uno dall'altro. L'astronauta sarà in grado di misurare i vari intervalli di tempo sulla base di quanto impieghi la luce ad andare avanti e indietro fra gli specchi. Dal punto di vista di un eventuale osservatore posto sulla superficie terrestre, invece, il tempo apparirà differente. L'osservatore vedrà il razzo sfrecciare via nel cielo, cosicchè il raggio di luce dovrà non solo coprire la distanza esistente fra i due specchi, ma altresì tener conto della distanza che il razzo avrà nel frattempo coperto orizzontalmente.

Lezione 5

I viaggi nello spazio rallentano l'invecchiamento!

Vi suggerisco di non andare immediatamente a spifferarlo nell'orecchio di qualche vostra zia avanti con l'età ed ossessionata dalla forma fisica e dall'aspetto estetico, ma è assolutamente tutto vero. Qualora aveste la possibilità di viaggiare nello spazio, potreste invecchiare meno di un vostro coetaneo che viva sulla Terra. Ad esempio, immaginiamo di star osservando un astronauta che si stia muovendo ad una rapidità di $0.99c$, dove

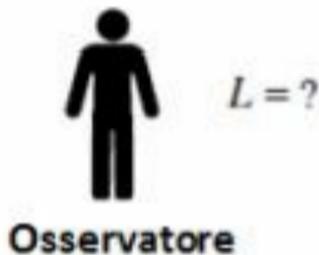
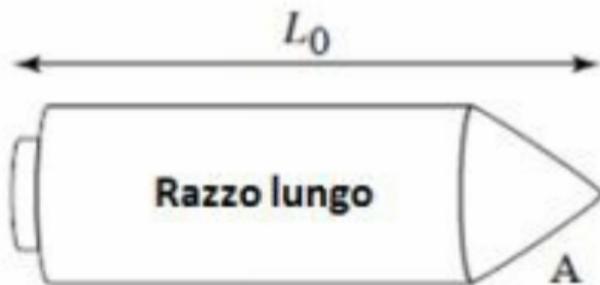
c ovviamente è pari alla rapidità della luce. Per l'astronauta ipotizziamo che i ticchettii sull'orologio durino 1 secondo. Ebbene, per ogni secondo trascorso a bordo del razzo, in accordo con quanto misurato dall'astronauta, noi, sulla Terra, misureremmo 7.09 secondi. Ciò accadrebbe anche a velocità inferiori rispetto a quella ipotizzata precedentemente, ad esempio quando un nostro ipotetico amico, a bordo di un jet, stesse decollando a circa 230 m/s. La rapidità dell'aereo è enormemente inferiore rispetto a quella della luce, perciò in realtà non si riuscirebbe a notare tali effetti relativistici, per quanto esistenti. Giusto per intenderci, ci vorrebbero 100,000 anni di viaggio del

jet per creare una differenza temporale pari a 1 secondo fra il nostro orologio e quello del nostro amico amante del volo! Soltanto a titolo informativo, sappiate che i fisici hanno in realtà condotto tale esperimento con dei jet e degli orologi atomici al cesio super sensibili, in grado di misurare differenze temporali fino a 1×10^{-9} secondi. E sapete come è andata a finire? Ve lo dico io. Tutti quanti i risultati sono stati in accordo con quanto previsto dalla teoria della relatività ristretta di Einstein!

Lezione 6

Le lunghezze si accorciano alle alte velocità.

La lunghezza di un razzo su cui stia viaggiando un astronauta risulta essere differente se si considerano le misurazioni effettuate dall'astronauta stesso oppure quelle effettuate dalla superficie terrestre. Proviamo a dare un'occhiata alla figura seguente per capire come tutto ciò funzioni:



La lunghezza di un oggetto L_0 , misurata da una persona a riposo rispetto all'oggetto stesso, risulterà essere pari a

L , lunghezza inferiore rispetto ad L_0 , se misurata da una persona che si muova con rapidità v sempre rispetto all'oggetto stesso. In altre parole, l'oggetto risulterà essersi accorciato! È da notare come tale restringimento abbia luogo soltanto lungo la direzione del moto. Infatti, come si può vedere dalla figura, il razzo sembra contrarsi, lungo la direzione del moto, all'atto di una eventuale misurazione da parte di un osservatore sulla Terra (figura B), ma non qualora si consideri il punto di vista dell'astronauta.

Lezione 7

Materia ed energia sono equivalenti: $E=mc^2$

Senza dubbio, il contributo più famoso, lasciatoci in eredità da Einstein, è rappresentato dalla celebre relazione di equivalenza fra materia ed energia: vale a dire una perdita o un guadagno in massa può anche essere considerato come una perdita o un guadagno in energia. Il risultato cui giunse in realtà Einstein fu il seguente:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Come caso speciale di tale relazione, si

può considerare che l'oggetto che si voglia convertire in energia si trovi a riposo, ovvero che $v=0$ nella formula. In tal caso (e sottolineo **soltanto** in tal caso), troveremmo che $E=mc^2$. Okay d'accordo, di certo vi eravate già imbattuti nella famosa relazione di Einstein, ma adesso è arrivato il momento di domandarci cosa voglia dire tutto ciò. È quasi possibile pensare alla massa come energia "condensata", e tale formula, in definitiva, fornisce il fattore di conversione fra chilogrammi e Joules, pari a c^2 , ovvero la rapidità della luce elevata al quadrato.

Lezione 8

Materia + Antimateria: un Boom assicurato!

È possibile ottenere una completa conversione della massa in energia soltanto in presenza di materia e antimateria. L' **Antimateria** è esattamente uguale alla materia standard, ma possiede un qualcosa di invertito rispetto a quest'ultima. All'interno degli atomi dell'antimateria, anziché avere gli elettroni, troveremo i positroni, ovviamente carichi positivamente. Inoltre, al posto dei protoni carichi positivamente, ci saranno degli antiprotoni carichi negativamente. I patiti di fantascienza, potranno ben

ricordare come l'antimateria fosse la forza che guidava i motori della famosa navicella spaziale "Enterprise" nel film Star Trek. Ma la cosa strana è che l'antimateria esiste sul serio. Gli scienziati sono infatti in grado di localizzarla nell'Universo e persino di riprodurla in laboratorio, utilizzando degli acceleratori di particelle ad elevata energia. Quando un elettrone standard e un positrone (l'antimateria dell'elettrone) si combinano, alla fine entrambi verranno , interamente (al 100%), convertiti in energia. E cosa accade a tale energia? Essa potrà strisciare via sotto forma di fotoni ad elevata potenza, oppure potrà portare alla produzione di altre particelle,

ancora più strane!

Lezione 9

Il Sole sta pian piano perdendo massa!

La maggior parte dell'energia che riceviamo dal Sole, proviene dalla **fusione**, ovvero l'unione di nuclei atomici con altri nuclei. Il Sole dà via un sacco di luce ogni secondo che passa, ed è questa la ragione per cui pian piano sta perdendo massa. Ad ogni modo, c'è davvero poco da preoccuparsi. La massa del Sole è enorme, e il Sole stesso non arderà definitivamente della propria famelica fiamma. Per lo meno, non lo farà così tanto presto da essere noi stessi gli sfortunati spettatori di tale tragico epilogo!

Lezione 10

Non si può superare la velocità della luce!

È impossibile andare ad una rapidità superiore a quella della luce. Il che è la ragione per cui “c” è sempre la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali, anche se la luce che ci sta investendo proviene da una sorgente che si stia muovendo verso di noi a velocità costante. Ecco cosa dice la teoria della relatività ristretta riguardo all'energia totale di un oggetto:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Per un oggetto a riposo $E_{\text{riposso}} = mc^2$. Per cui, l'energia cinetica relativista di un oggetto dotato di massa m sarà pari a:

$$E_c = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Da notare come, man mano che la velocità dell'oggetto aumenta, il termine racchiuso fra parentesi diventa sempre più grande, tendendo vertiginosamente all'infinito. Per cui, man mano che la rapidità dell'oggetto si avvicina infinitesimamente a quella della luce, c , l'energia cinetica dell'oggetto stesso diventa quasi infinita. Sebbene ciò sia un risultato di un certo effetto per le navicelle spaziali (o razzi che dir si

voglia), l'unico vero significato è che non è possibile avvicinarsi così tanto o perfino superare l'invalidabile frontiera della velocità della luce. Almeno secondo la teoria della relatività ristretta!

Lezione 11

Newton aveva ragione!

Dopo tutta quanta la discussione incentrata sulle fantastiche idee di Einstein, dove, l'intera comunità fisica mondiale, ha abbandonato il povero vecchio e saggio Newton? Cosa ne è stato delle sue vecchie e utili equazioni riguardo a momento ed energia cinetica? Ebbene, tali equazioni rimangono ancora valide, ma soltanto per le basse rapidità. Ad esempio, diamo una veloce occhiata all'equazione relativistica per il momento:

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

dove ovviamente p è il momento, m la massa e v la rapidità dell'oggetto. Isoliamo il solo seguente termine della precedente equazione:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Tale termine comincia a fare la differenza soltanto quando ci si avvicini alla rapidità della luce. Basti pensare che, persino arrivando a rapidità dell'ordine di 4.2×10^7 m/s, le quali sarebbero parse enormemente giganti ai tempi di Newton, tale fattore cambierebbe l'intero valore dell'equazione di un misero 1 per cento. A basse rapidità, dunque, è possibile

trascurare il fattore relativistico e ottenere:

$$p = mv$$

Newton sarebbe davvero molto felice di tale risultato. Mettiamo ora sotto la lente di ingrandimento l'equazione per l'energia cinetica. In termini relativistici avremo:

$$E_c = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Diamo un'occhiata al solito termine:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

È possibile espandere quest'ultimo utilizzando il teorema

binomiale (spolverate le vecchie lezioni di algebra!):

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1 + \frac{1v^2}{2c^2} + \frac{3}{8}\left(\frac{v^2}{c^2}\right)^2 + \dots$$

Quando il termine $\frac{v^2}{c^2}$ è molto minore di 1, l'equazione sopra riportata si riduce a quanto segue:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1 + \frac{1v^2}{2c^2}$$

Sostituendo tale termine all'interno dell'equazione dell'energia cinetica relativistica, provate un po' a indovinare cosa verrebbe fuori? Ma

certo. Verrebbe fuori la nostra saggia, vecchia non relativistica versione dell'equazione:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Tutto questo per dire che Newton non è stato messo in disparte, in mezzo ai cumuli di polvere, quando si è deciso di discutere di relatività. La meccanica Newtoniana continua ancora ad essere valida fintantochè le rapidità coinvolte siano significativamente inferiori rispetto a quella della luce, c . Gli effetti relativistici si comincerebbero a notare a partire da rapidità pari a circa il 10% di c . Il che, probabilmente, è il motivo per cui Newton non ebbe mai modo di notarli!

