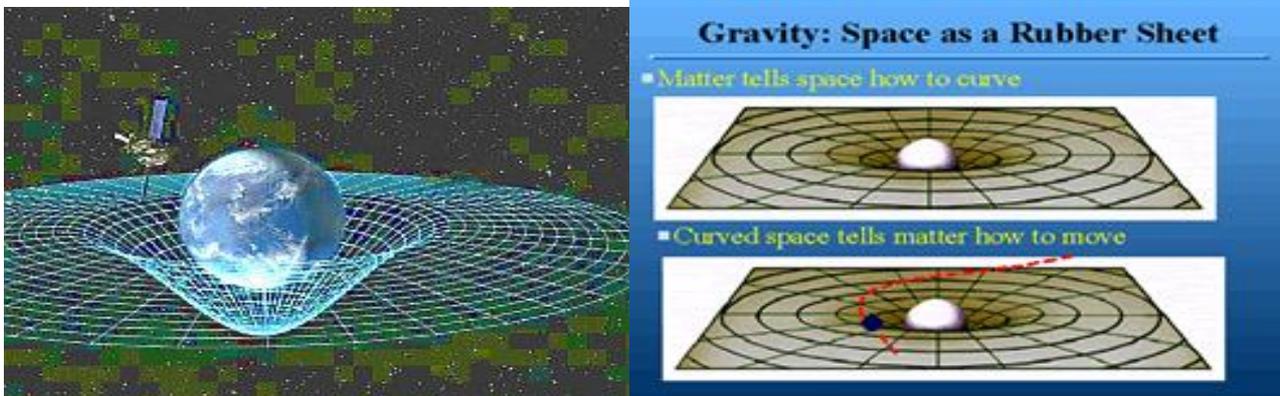


Albert Einstein , con la teoria della relatività generale , dice che, attorno ad ogni oggetto materiale lo spazio-tempo si curva.



Facciamo un esempio considerando uno spazio a due dimensioni: quello di un telo elastico teso ai suoi estremi. In assenza di oggetti sulla sua superficie il telo è perfettamente piano, le linee tracciate con una squadra sono rette e formano fra loro angoli di 90 gradi. Supponiamo ora di poggiare su questo telo elastico una palla pesante. Il telo si curverà e le righe che avevamo tracciato seguiranno un percorso che sarà tanto più curvo (geometria non euclidea) quanto più saranno vicine alla palla. Le linee più lontane ci appariranno ancora rette e il telo a grande distanza dalla palla sarà ancora piano. L'esempio in due dimensioni ci fa intuire come agisce la gravità nello spazio tridimensionale. La curvatura dello spazio determina il moto dei pianeti attorno al nostro Sole. Un esempio dell'effetto di una massa (il Sole) sull'orbita un pianeta (Mercurio) lo puoi vedere sopra. L'esempio che abbiamo fatto ci serve per intuire cosa accade, di fatto quello che si curva è lo spazio-tempo (3+1 dimensione). La presenza della massa concentrata influenzerà poco gli oggetti lontani ma ogni oggetto in vicinanza sarà "catturato" in un' orbita attorno a quello più grande. In alcuni casi se in una piccola regione di spazio la concentrazione di massa cresce molto, lo spazio si curva su se stesso tanto da isolare questa zona dalle zone continue. Torniamo al nostro esempio sul telo e immaginiamo di comprimere il corpo che determina la curvatura del foglio, mantenendo uguale la sua massa: il foglio si curverà in una zona più ristretta, ma la profondità della deformazione crescerà. Si forma così un buco nero . Questo accade quando una stella di massa relativamente grande (quelle di massa inferiore a tre masse solari non diventano infatti buchi neri) esaurisce il suo carburante nucleare. Tutta la sua massa si contrae entro un raggio, detto critico. All'interno del raggio critico il campo gravitazionale diventa così intenso che la luce emessa viene piegata all'interno e non può evadere. Attorno alla posizione occupata una volta dalla stella c'è ora una zona di non-ritorno, chiamata orizzonte degli eventi, dalla quale nulla può uscire.

Teoria della relatività ristretta:

LA RELATIVITA' RISTRETTA

Secondo la relatività ristretta, c_0 è inoltre la velocità massima a cui può viaggiare tutta l'informazione nell'universo (energia e/o materia), ed è la velocità nel vuoto di tutte le particelle senza massa e dei relativi campi, tra cui la radiazione elettromagnetica stessa.

Nella teoria della relatività, c_0 interrelaziona le grandezze fisiche classiche spazio e tempo introducendo definitivamente il concetto di spazio-tempo, e appare nella famosa equazione di equivalenza massa-energia.

Ad una prima analisi superficiale potrebbe apparire che la relatività ristretta di Einstein non contenga alcun elemento originale, in quanto i suoi unici due ingredienti sono:

I. Le leggi della fisica sono invarianti in tutti i sistemi di riferimento inerziali (Principio di relatività galileiana)

II. La velocità della luce nel vuoto è costante (Conquista della fisica dell'elettromagnetismo) Tuttavia, la felice (e niente affatto ovvia) coniugazione di questi due principi condusse ad un tale riesame della fisica da costituire un vero e proprio sovvertimento della *forma mentis* del fisico del ventesimo secolo. La speculazione einsteiniana sul concetto di tempo ed eventi simultanei ne è forse l'esempio più suggestivo e che più cattura l'immaginazione popolare. Le trasformazioni galileiane assumono tacitamente che il tempo fluisca alla stessa maniera in tutti i sistemi di riferimento inerziali ($t=t'$) e che pertanto due eventi simultanei nel riferimento R siano necessariamente simultanei nel riferimento

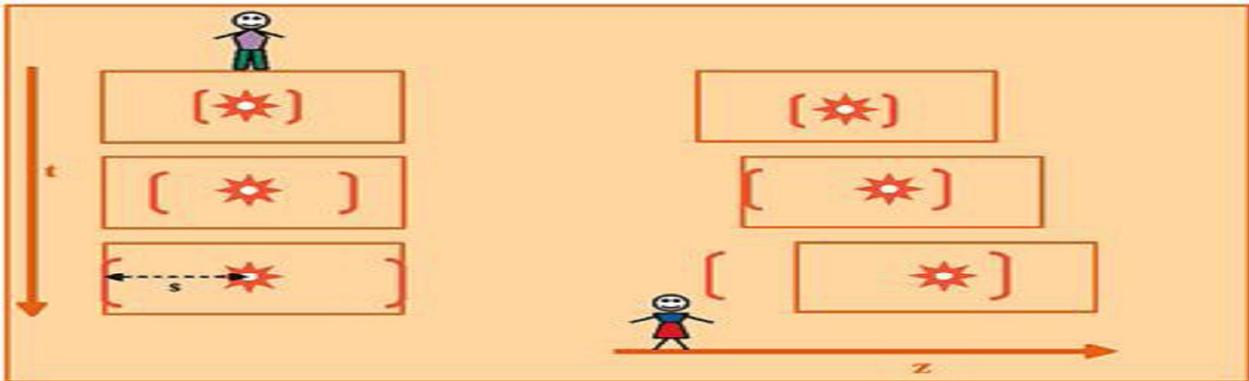
R'. Se si sviluppano le conseguenze del punto II della relatività einsteiniana si approda però alla sconcertante constatazione che questo fatto intuitivo per menti galileiane non è più vero quando entra in gioco la velocità della luce. Supponiamo di inviare un segnale luminoso sferico dal centro del solito treno in movimento e di rilevarlo sulle due pareti estreme del vagone. Poiché la velocità della luce non dipende dal riferimento in cui la si osserva, per un osservatore fermo nel vagone (Giorgio in Fig. 1) l'arrivo dei due segnali sulle pareti saranno due eventi simultanei, ma per un osservatore fermo sul binario (Luisa in Fig. 1) cessano di essere tali. Luisa vedrà il fascio luminoso colpire il retro del treno prima del fronte (Fig. 1). Il lavoro del matematico olandese Lorentz fornì convenientemente ad Einstein gli strumenti matematici necessari per provare che non si trattava di un paradosso, ma bensì di un fatto vero della natura e che ogniqualvolta si abbia a che fare con velocità pari o prossime a quelle della luce, il tempo non è più una variabile assoluta ed indipendente dal sistema di riferimento adottato, ma dipende dalla variabile posizione:

$$x' = \gamma(x - ut) \quad y' = y \quad z' = \gamma(z - ut) \quad t' = \gamma(t - uz/c^2) \quad [2]$$

dove $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ è il fattore di Lorentz.

Le trasformazioni di Lorentz si riducono a quelle di Galileo nel caso di velocità (u) molto inferiori a quelle della luce (c) e permettono di descrivere le leggi della meccanica newtoniana e le equazioni di Maxwell in maniera invariante.

Fig. 1 - Due eventi sono simultanei per un osservatore se rispetto ad esso accadono allo stesso tempo t . Il passeggero Giorgio vedrà l'onda luminosa sferica colpire la parete sinistra del treno in moto al tempo $t_1 = s/c$ e la parete destra al tempo $t_2 = s/c = t_1$. Per Giorgio i due eventi sono simultanei. Dal binario Luisa



Pertanto se immaginiamo di essere all'interno della navicella spaziale fotone possiamo dire che pur andando perfettamente dritti, passando in prossimità della nostra stella, il sole, un osservatore esterno dal pianeta terra vedrebbe una piccola curvatura nel nostro apparente moto rettilineo; questa curvatura, però, non è dovuta alla massa del fotone ma solo alla curvatura spazio tempo che si genera in prossimità del sole. Inoltre per un osservatore esterno alla "navicella fotone" gli eventi che si verificano sul fotone potrebbero generarsi in uno spazio tempo diverso da quello di chi si trova all'interno del sistema di riferimento "fotone".

Rettifica alla formula di Albert Einstein di fabriziomax:

$$E = (m \cdot c^2) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

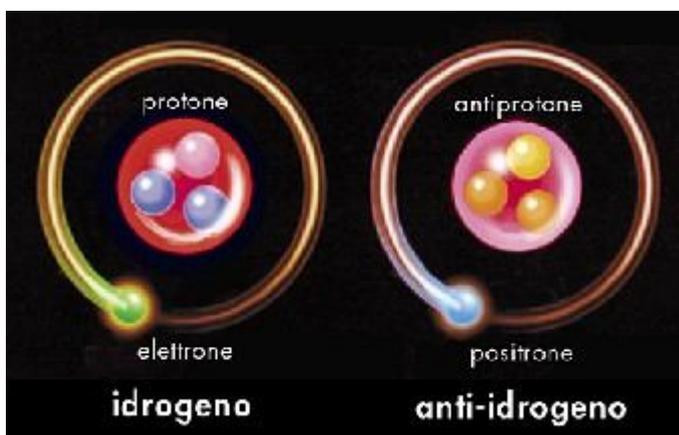
Dove r = resistenza dello spazio non vuoto (tra cui anche onde elettromagnetiche e antimateria). La resistenza incrementa al quadrato in risposta al quadrato della velocità della luce (causa bilanciamento atomico).

Dove k = coefficiente di resistività alla trasformazione combinata con materia, onde elettromagnetiche ed antimateria presenti nello spazio non vuoto. (La resistività elettrica, anche detta resistenza elettrica specifica, è l'attitudine di un materiale ad opporre resistenza al passaggio delle cariche elettriche.)

Se consideriamo un fotone che ha massa a riposo ma poi a riposo non ci sta mai e quindi in movimento la perde mantenendo solo quella relativistica (nel

quadro più ampio della relatività ristretta, specialmente in una prospettiva storica, la massa relativistica non è più una proprietà intrinseca della materia ma dipende anche dallo stato della materia stessa e dal sistema di riferimento in cui viene osservata. Il concetto di massa relativistica non è centrale alla teoria, al punto che alcuni autori la ritengono un concetto fuorviante. Nella relatività ristretta un corpo ha una massa relativistica direttamente proporzionale alla sua energia, tramite la famosa formula $E = mc^2$. È possibile invece definire un invariante relativistico, detto massa a riposo o massa invariante, al quale la massa relativistica si riconduce nel caso in cui la particella sia ferma. La massa a riposo è definita in termini dell'energia e dell'impulso della particella ed è la stessa in ogni sistema di riferimento, risultando una grandezza fisica molto più utile della massa relativistica, al posto della quale può essere usata l'energia della particella), **al tendere di quest'ultimo all'infinito, la sua velocità v sarà stata rallentata da r^2 per un coefficiente k che classifica la velocità di dispersione dell'energia in funzione dell'elemento materiale con cui viene a contatto il nostro fotone; alla fine del suo viaggio a residuo energetico pari a zero (morte del fotone) tutta la sua energia si sarà trasformata in altre forme di materia o di non materia sia nel caso che sia stato "attratto o intrappolato" in un buco nero o (evento la cui possibilità non risulta quantificabile) nel caso in cui non avendo incontrato ostacoli di sorta (spazio perfettamente vuoto) abbia ceduto la sua energia ad un anello di antimateria, nel qual caso, annichendosi completamente!** ($E=mc^2$ Questa formula ci dice che l'energia "E" e la massa "m" sono convertibili con un fattore di conversione pari alla velocità della luce "c" al quadrato. In parole un pò più semplici da piccole quantità di materia si può "creare" una grande quantità di energia e da una grande quantità di energia si può "creare" una piccola quantità di materia. Il principio è alla base per esempio della bomba atomica, infatti con il processo di fissione nucleare viene diviso un atomo pesante in due atomi più leggeri. Ora prendiamo per esempio (tralasciando dati reali e unità di misura che non servono per spiegare il concetto) un atomo che ha massa 2, se lo divido in due atomi più piccoli uguali tra loro logicamente questi dovrebbero avere entrambe massa 1, ma non è così, infatti i due atomi più leggeri avranno massa 0,9999, in pratica una piccola parte di massa viene convertita in energia. L'energia che si crea da questa massa mancante è quella che hai visto nelle esplosioni atomiche. Ora tornando al nostro esempio nel momento in cui materia e antimateria si annichiscono la massa di entrambe viene convertita in energia esattamente come per la bomba atomica, solo che in questo caso non è una piccola parte ma è tutta la massa di entrambe le particelle....un botto immane!!).

Ogni oggetto che ci circonda è fatto di materia. Ma se ogni cosa è di materia, che cosa è allora l'antimateria? Per avere la risposta bisogna tornare indietro nel tempo fino agli anni '30. Nel 1928 Dirac formulò una teoria per il moto degli elettroni in campi elettrici e magnetici, includendo sia effetti relativistici che effetti quantistici. Questa teoria, in grado di descrivere i risultati delle misure sperimentali in modo eccezionalmente preciso, portò anche ad una sorprendente previsione. L'elettrone doveva avere una "antiparticella" con stessa massa ma carica elettrica opposta a quella negativa di un normale elettrone. La previsione di Dirac trovò conferma sperimentale nel 1932.



Rappresentazione artistica di un atomo di idrogeno e di uno di anti-idrogeno. Oggi sappiamo che tutte le particelle con momento angolare intrinseco (spin) semi-intero, devono avere un'antiparticella. Mentre la massa di particelle e antiparticelle è identica, altre proprietà sono caratterizzate da valori che hanno segno matematico opposto. Ad es. l'antiprotone ha la stessa massa del protone ma carica elettrica opposta (la carica del protone è positiva, quella dell'antiprotone è negativa).

Anche alle particelle elettricamente neutre, come il neutrone, corrispondono antiparticelle. Esse possiedono proprietà, con segno cambiato, differenti dalla carica elettrica. Oggi l'antimateria è usata ogni giorno in medicina per analizzare lo stato del cervello, tramite la tecnica chiamata Positron Emission Tomography (PET). La PET è un metodo di indagine che permette di misurare funzioni metaboliche e reazioni biochimiche in vivo ed ha larga applicazione nelle neuroscienze, in oncologia e cardiologia.

Nella PET i positroni provengono dal decadimento di nuclei radioattivi che vengono incorporati in un fluido speciale, iniettato poi per via endovenosa al paziente. I positroni emessi annichilano con gli elettroni degli atomi vicini e danno luogo a due raggi gamma emessi in direzioni opposte. Essi vengono rivelati tramite opportuni rivelatori, disposti in "anelli" attorno al paziente, per individuare e registrare i punti in cui si sono verificate le annichilazioni e quindi ricostruire dove si è distribuito il radiofarmaco nel corpo.

Linea che mostra la velocità della luce in un modello in scala. Dalla terra alla luna, 384 400 km, circa 1,28 secondi considerando la distanza media centro terra/centro luna. Non trovate che la velocità della luce sia davvero lentissima in rapporto alle dimensioni spazio-tempo anche solo del nostro universo conosciuto?

