

–Teoria dell'etere, analisi critica dell'esperimento di Michelson e Morley

La relazione che definisce l'equilibrio dello spazio rotante ci consente di dare una **definizione operativa della materia, chiara ed inequivocabile**, senza aggiungere altre unità di misura fondamentali a quelle già note.

La quantità di materia associata al punto O è data, per definizione, dal valore della costante :

$$K^2 = V^2 \cdot R$$

che si ricava con una " massa esploratrice " posta in equilibrio in un punto qualsiasi dello spazio fisico circostante.

E' importante tenere presente che la velocità V non viene imposta alla sfera esploratrice dall'esterno, ma si ottiene come risultato del lavoro che l'accelerazione radiale a_r , agente in ogni punto dello spazio fisico considerato, compie portando la sfera da una distanza $R_0 \rightarrow \infty$ al valore di equilibrio R .

Essa rappresenta dunque la velocità di equilibrio di ogni punto dello spazio fisico rotante considerato, anche se in esso non sono presenti aggregati di materia organizzata.

Rilevato dunque il valore K^2 , per esempio, per $R = 1\text{ m}$, tutto lo spazio che si trova in condizione di equilibrio stazionario, verrà descritto dalla relazione :

$$V_{\text{eq}}^2(R) = \frac{K^2}{R}$$

Sostituendo, si ricava il valore dell'accelerazione radiale a_r che il centro O deve imporre allo spazio fisico circostante per mantenere i suoi punti ad una distanza costante e quindi in equilibrio su orbite circolari.

Si hanno dunque le relazioni fondamentali :

$$a_f = \frac{V_{\text{eq}}^2}{R} \quad \text{e quindi :} \quad a_r = - \frac{K^2}{R^2}$$

Questa relazione ci dice che, affinché nello spazio geometrico circostante la materia possa esistere uno spazio fisico in equilibrio, è necessario che su ciascun punto dello spazio agisca una pressione radiale, espressa da a_r , che viene indicata come gravità.

Per una corretta interpretazione dei risultati, è importante ricordare che nello spazio che abbiamo considerato non esistono altre azioni oltre a quella della materia centrale.

Se dunque si considera uno spazio fisico imperturbato, la simmetria sferica porta ad una velocità di equilibrio con lo stesso valore in tutte le direzioni.

$$\vec{V} = \sum \vec{V}_{eq} = 0$$

In queste condizioni, ciascun punto rimane dunque in equilibrio, **fermo nello spazio**, sottoposto all'azione di tutti gli altri punti circostanti.

Essendo l'accelerazione centrifuga a_f dipendente da V^2 , il suo segno risulta indipendente dalla direzione della velocità. Se abbiamo quindi un punto che compie un'oscillazione attorno alla posizione di equilibrio con una velocità V , anche se l'oscillazione ha un'ampiezza infinitamente piccola, in modo tale da poter considerare il punto fermo, si ottiene sempre un valore diverso da zero dell'accelerazione gravitazionale.

In definitiva, un punto dello spazio fisico, indipendentemente dalla SUA MASSA, viene sottoposto all'azione gravitazionale della materia solo per il fatto che " si trova in equilibrio " in un punto del suo spazio rotante, anche se è fermo.

Se, a questo punto, in un punto qualsiasi dello spazio, " **caratterizzato dalla costante K^2** ", lo spazio fisico puro viene sostituito da una massa in moto, " **lo spazio esercita sulla massa un'accelerazione radiale, che impone una velocità tangenziale di equilibrio tale che sia** " :

$$V_{eq}^2 \cdot R = K^2$$

In definitiva, se in un punto dello spazio fisico si pone un aggregato materiale, **tutto lo spazio circostante viene attivato e diventa capace di esercitare direttamente azioni sulla materia presente.**

La funzione della materia nella definizione dell'azione gravitazionale **termina con l'attivazione dello spazio.**

E' poi quest'ultimo che **fisicamente esercita l'azione gravitazionale** sulla materia in esso presente.

Non è dunque corretto dire che una massa m_1 esercita la sua azione su una massa m_2 posta alla distanza R .

Essendo infatti l'azione su m_2 istantanea, con questa interpretazione si dice che m_1 trasmette a m_2 **istantaneamente il messaggio che indica la sua presenza alla distanza R .**

Dato che è provato dall'esperienza che nessun segnale può essere trasferito con velocità infinita e tuttavia l'accelerazione gravitazionale si presenta istantaneamente, " questa interpretazione non può essere considerata corretta ".

Per poter soddisfare entrambe le osservazioni sperimentali, in accordo con quanto abbiamo ricavato teoricamente, **diciamo che, se una massa viene posta in uno spazio fisico di valore K^2 , viene " immediatamente " assoggettata "dallo spazio" ad un'azione tale da consentire l'equilibrio solo su un'orbita circolare di raggio R , percorsa con una velocità V , tale da soddisfare la condizione :**

$$V^2 \cdot R = K^2$$

Se la materia che ha attivato lo spazio si sposta, la massa, che si trova in un punto dello spazio circostante, **riceve istantaneamente l'informazione del movimento avvenuto e, con K^2 invariato, l'equilibrio si realizzerà con gli stessi valori della velocità e del raggio dell'orbita.**

Quest'ultima osservazione ci dice che la materia si circonda di **una sfera di spazio attivo di raggio Γ_p , che indichiamo come spazio rotante, che la segue in ogni suo spostamento e ne individua il raggio d'azione.**

E' chiaro che, se **lo spazio rotante è solidale** con la materia che lo genera, la consuetudine di considerare materia solo la massa centrale generatrice, è solo una scelta arbitraria, in quanto non esiste fisicamente alcuna possibilità di separare la massa centrale dalla sua sfera planetaria.

In seguito verrà dimostrato infatti che, **per attivare lo spazio circostante, la materia trasferisce allo spazio un preciso valore di energia, opportunamente**

distribuita, che produce una riduzione della massa centrale.

Dunque è come se una parte della materia centrale venisse diluita in tutto lo spazio rotante generato.

Quando parliamo, per esempio, del Sole, ci riferiamo alla sfera di idrogeno avente tutte le caratteristiche associate all'osservazione della sua superficie visibile di raggio r_s .

In realtà abbiamo visto (pag. 408) che il Sole ha una sfera planetaria avente un raggio uguale a 1385 UA alla quale è associata una energia, e quindi una massa che è da intendersi come massa solare, in quanto, quando spostiamo il Sole, **contemporaneamente** spostiamo un volume di spazio fisico uguale a quello della sua sfera planetaria.

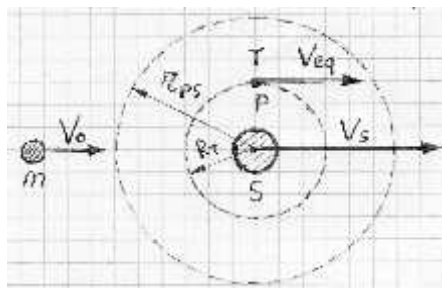
Tale sarà quindi anche lo spazio che si perturba con lo spostamento.

E' più corretto intendere come Sole l'intera sfera planetaria, con tutte le caratteristiche associate.

Con questa nuova interpretazione, quando si parla di azione del Sole su una massa posta alla distanza R , non s'intende l'azione diretta del Sole, bensì quella **istantanea**, che produce direttamente lo spazio rotante solare ad una distanza R dal centro, che porta ad un equilibrio su un'orbita circolare avente appunto raggio R e velocità longitudinale V tale da verificare la condizione :

$$V_{eq}^2 \cdot R = K_s^2$$

Per maggiore chiarezza, con riferimento alla figura seguente, consideriamo il Sole in equilibrio con il pianeta Terra e la sfera planetaria (di spazio fisico) di raggio r_{ps} .



Nelle normali condizioni di equilibrio la sfera di spazio, solidale il Sole posto

nel centro, si muove nello spazio rotante del sistema stellare locale con una velocità V_s (ricaveremo in seguito il valore $V_s = 988,7 \text{ K}_m/\text{sec}$), trascinando in questo moto tutte le masse in essa presenti.

La Terra, rappresentata in figura, sarà quindi animata dal moto di rivoluzione con velocità V_{eq} più quello di traslazione dell'intero sistema Solare.

Nelle condizioni indicate la velocità relativa tra Sole e Terra è uguale a quella di equilibrio V_{eq} e quindi l'accelerazione gravitazionale uguaglia la centrifuga e **nessuna forza** agisce sulla Terra, che continua così a percorrere la orbita circolare di raggio R_T , in perfetto equilibrio con lo spazio rotante.

Se a questo punto una massa m di valore trascurabile rispetto a quella solare, avente una velocità iniziale V_0 molto elevata, colpisce il Sole, la sua velocità orbitale V_s subisce un aumento ΔV_s , trascinando con se tutta la sua sfera planetaria con esso solidale (**ma non le masse in essa presenti**).

Essendo trascurabile la materia aggiunta al Sole, la sua azione gravitazionale è rimasta invariata in tutta la sfera planetaria e dunque, con riferimento alla Terra, la velocità di equilibrio dello spazio rotante nel punto P è ancora V_{eq} mentre la velocità relativa tra Terra e Sole è diventata:

$$V_T = (V_{eq} - \Delta V_s) < V_{eq}$$

L'equilibrio del pianeta viene quindi perturbato **istantaneamente, in quanto il punto P segue il Sole in tutti i movimenti.**

La velocità orbitale di equilibrio V_{eq} " è indipendente dal valore della massa " e quindi coincide anche con la velocità di equilibrio di tutti i punti dello spazio fisico presenti sull'orbita di raggio R.

Se dunque una massa m si muove in perfetto equilibrio sulla stessa orbita, presenta una velocità relativa uguale a zero, rispetto allo spazio rotante nel quale si muove, e dunque " non potrà scambiare con esso alcuna forma di energia ".

Questo vuol dire che:

Se non intervengono forze esterne, la massa M conserva il suo stato di moto equilibrato sull'orbita circolare per un tempo indefinito.

Come si può vedere, si tratta esattamente dell'**enunciato della prima legge della dinamica**, formulata da Newton, con la sola differenza che abbiamo, in questo caso, **una traiettoria curva**.

Con una diversa formulazione, è questa la curvatura dello spazio alla quale si riferisce Einstein nella teoria della relatività generale.

La massa in moto nelle condizioni indicate non è soggetta a nessuna forza. Essa non avverte quindi alcun effetto gravitazionale e non manifesta neppure la forza d'inerzia, in quanto il moto appare accelerato nel nostro spazio, fuori dall'orbita, ma risulta in perfetto equilibrio (**moto a velocità costante su una linea equipotenziale**) nello spazio in cui la massa realmente si muove. **In definitiva essa interagisce con lo spazio rotante nel punto occupato e non con il nostro spazio.**

Ricordiamo ora che Einstein, trattando il problema della gravità, **nella teoria della relatività generale**, per rendere compatibile il limite della velocità della luce, previsto dalla teoria della relatività ristretta, con la legge di Newton della gravitazione universale, che invece prevede il **trasferimento istantaneo** dei segnali nello spazio da una massa all'altra, ipotizza per la materia la capacità di **"deformare lo spazio circostante"**, creando così delle traiettorie curve.

Secondo Einstein, tale **"curvatura dello spazio"** fa deviare i corpi dalla loro traiettoria rettilinea, provocando così quello che noi chiamiamo **"attrazione gravitazionale"**.

La gravità viene quindi interpretata come un effetto puramente geometrico e le equazioni di Einstein esprimono proprio la relazione che esiste fra materia e curvatura prodotta.

Secondo la teoria della relatività generale, **tutte le traiettorie, ellittiche, circolari o iperboliche**, vengono imposte dalla deformazione dello spazio e risultano indipendenti dalla massa che le percorre.

Nella teoria degli spazi rotanti **è solo l'orbita circolare minima** (quantizzata)

che viene imposta dallo spazio per poter verificare i principi di conservazione in qualsiasi punto, indipendentemente dalla massa presente.

La deviazione dall'orbita circolare **imposta** dipende invece **dall'eccesso di energia della massa presente**, rispetto al valore associato all'equilibrio (il calcolo dettagliato verrà eseguito in altro capitolo).

E' da notare che la deformazione dello spazio da parte della materia è stata proposta da Einstein sostanzialmente "**per giustificare il fatto che l'azione gravitazionale si presenta istantaneamente**" e dunque non necessita del trasferimento di un segnale.

La proposta fatta risolve però il problema solo per una massa che s'inserisce in uno spazio con deformazione già definita.

Se, riprendendo l'esempio che abbiamo riportato, si sposta il Sole, secondo questa proposta, esso **dovrà deformare** lo spazio circostante il nuovo punto occupato, comunicando la sua presenza, e questo richiede tempo, che ritarda l'azione gravitazionale.

Il problema si risolve solo considerando lo spazio fisico attivo solidale con la massa generatrice.

Per meglio confrontare i risultati teorici che abbiamo ottenuto con quelli che vengono proposti dalle teorie correnti, richiamiamo brevemente le basi della relatività di einstein.

Fino al XIX secolo nello studio di qualsiasi processo fisico si faceva ricorso ad un modello meccanico secondo il quale tutti i fenomeni naturali venivano interpretati come interazione tra particelle materiali.

In particolare, qualsiasi movimento ondulatorio doveva propagarsi in qualche elemento, così come suggerivano le onde del mare oppure di uno stagno, che si propagano attraverso l'acqua e le onde sonore che si muovono nell'aria.

In base a queste osservazioni, le onde elettromagnetiche non avevano alcuna possibilità di propagarsi nel vuoto e quindi si doveva teorizzare l'esistenza di una sostanza **materiale** che permettesse il loro trasferimento nello spazio. Questa sostanza, alla quale venivano richieste molte caratteristiche, spesso in contrasto fra loro, venne indicata come Etere.

L'esistenza di questa sostanza, **ferma nello spazio**, dava la possibilità di assumere **un riferimento privilegiato** rispetto al quale misurare qualsiasi movimento.

Dato che si sapeva, dall'esperienza, che **la luce si muoveva nello spazio con una velocità elevata ma finita** e, secondo la meccanica classica, il suo valore doveva risultare dipendente dalla velocità relativa dell'osservatore, la presenza di un riferimento privilegiato, fermo in qualsiasi punto dello spazio, consentiva di assegnare alla luce un valore della **velocità di propagazione avente la caratteristica di costante universale**.

Da questi brevi richiami si capisce l'importanza che assumeva per la fisica la presenza di un etere immobile che riempie tutto lo spazio. E' per questa ragione che nel 1887 Michelson Morley si decisero di verificare la sua esistenza.

L'esperimento si fondava sulla semplice osservazione che, se esiste un etere immobile in tutto lo spazio, "**qualsiasi corpo fermo nello spazio risulterà fermo rispetto all'etere, mentre un corpo in movimento risulta in moto relativo rispetto all'etere nella direzione del moto e fermo in direzione perpendicolare al moto**".

L'esperimento era stato concepito per dimostrare che la luce può assumere velocità diverse per diversi osservatori in moto relativo rispetto all'etere e con questo si provava l'esistenza stessa dell'etere immobile nello spazio.

Michelson pensò che se lo spazio è un oceano immobile di etere ed il Sole è fermo rispetto ad esso, la velocità della terra attraverso l'etere (30 Km/sec) poteva essere rilevata lanciando nello spazio diversi raggi di luce con diverso orientamento rispetto alla direzione del moto.

Se la luce si propaga veramente attraverso l'etere, la sua velocità si sarebbe rivelata dipendente dal flusso di etere suscitato dal moto della terra.

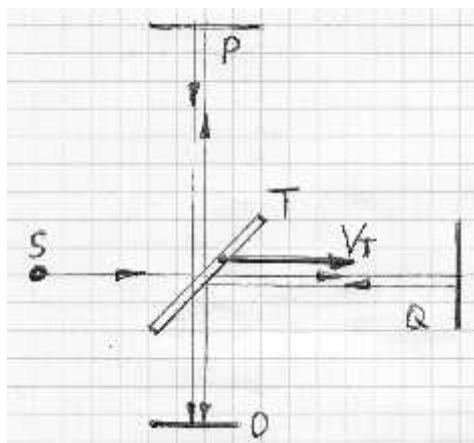
Michelson e Morley pensarono dunque di utilizzare due raggi di luce coerente inviando uno nella direzione del moto e l'altro in senso normale, confrontando poi il tempo da essi impiegato a percorrere la stessa distanza.

A bordo del sistema mobile Terra, uno osservatore O (schermo) riceve e

confronta i due raggi dopo che hanno realizzato il loro percorso.

Trascurando i raffinati accorgimenti tecnici necessari in considerazione del fatto che la differenza di velocità è veramente esigua (30 su 300000), nella sua schematicità l'apparecchio utilizzato da Michelson e Morley è costituito da due regoli TP e TQ , perpendicolari tra loro e aventi uguale lunghezza L .

Nel punto T si trova uno specchio semiargentato, che divide il raggio inviato dalla sorgente S. I due raggi prodotti vengono deviati lungo i regoli alle cui estremità si trovano due specchi, che li riflettano nuovamente verso il punto T e vanno a interferire sullo schermo posto nel punto O, formandovi una figura di interferenza.



Un eventuale " vento d'etere " avrebbe comportato una diversa velocità della luce nelle diverse direzioni e di conseguenza uno scorrimento delle frange di interferenza con la rotazione di tutto lo strumento rispetto alla direzione del moto della Terra. Questo è quello che ci si aspettava di osservare.

E' naturale che, trattandosi di valutare il moto relativo tra Terra in movimento ed etere in quiete assoluta, il calcolo venne eseguito utilizzando la relatività di Galileo.

Ipotizzando che la terra si muova con velocità V_T verso destra, relativamente allo schema tracciato, e la luce con velocità C_1 rispetto all'etere immobile, si calcolano i risultati previsti con le seguenti considerazioni.

Il tempo necessario a percorrere il braccio parallelo al moto terrestre durante l'andata, essendo per ipotesi il vento d'etere opposto, la velocità osservata

della luce sarà $(C_1 - V_T)$, mentre al ritorno si avrà ovviamente $(C_1 + V_T)$.

Considerando il percorso di andata e ritorno identici, si calcola il tempo totale con la somma dei tempi richiesti dai due percorsi ; si avrà quindi :

$$t_1 = \frac{L}{(C_1 - V_T)} + \frac{L}{(C_1 + V_T)} = \frac{2 \cdot L}{C_1} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{V_T^2}{C_1^2}\right)}$$

In maniera analoga si calcola il tempo impiegato dalla luce per percorrere il braccio perpendicolare alla direzione al moto della terra. In questo caso però si sommano vettorialmente due velocità perpendicolari fra loro e quindi si ha

la velocità osservata :

$$V = \sqrt{C_1^2 - V_T^2}$$

che, per la simmetria dei percorsi risulta la stessa per il tragitto di andata e di ritorno, per cui il tempo richiesto per l'intero percorso risulta :

$$t_2 = 2 \cdot \frac{L}{\sqrt{C_1^2 - V_T^2}} = \frac{2 \cdot L}{C_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_T^2}{C_1^2}}}$$

t_1 e t_2 sono i tempi che l'osservatore in moto con la Terra misura, **secondo la trasformazione di Galileo.**

Trovato il tempo impiegato per percorrere ciascun braccio, si può procedere alla valutazione della figura interferenza che si ottiene sullo schermo quando le due onde, aventi stessa fase iniziale, andranno nuovamente a sovrapporsi dopo una differenza di percorso data da :

$$\Delta L = C_1 \cdot (t_2 - t_1)$$

Se il sistema viene fatto ruotare, man mano che l'angolo di rotazione aumenta ΔL diminuisce, riducendosi a zero con $\alpha = 45^\circ$ per cambiare segno a 90° , quando si verifica lo scambio tra i bracci e dunque dei tempi t_1 e t_2 .

Se si ha l'etere immobile, con la rotazione si produce uno spostamento delle frange di interferenza. Viceversa, se l'etere non esiste, tutte le posizioni dello strumento, denominato interferometro, sono equivalenti e quindi **la rotazione non produrrà alcun effetto**.

La variazione di fase prevista dagli autori dell'esperimento non si presentò e questo dimostrava che la luce si propaga nello spazio senza alcun effetto di "trascinamento" da parte di un mezzo fisico.

Il fallimento dell'esperienza di Michelson e Morley nel dimostrare l'esistenza dell'etere può avere le seguenti giustificazioni :

– **La velocità della luce è indipendente dalla direzione del moto, quindi l'etere non esiste.**

– **La Terra è ferma rispetto all'etere e quindi, se esso esiste, si deve ammettere che in prossimità della superficie terrestre venga trascinato in rotazione.**

– **Il braccio dell'interferometro si accorcia nella direzione del moto.**

Secondo Einstein il risultato ottenuto poteva essere giustificato ammettendo l'inesistenza dell'etere e dunque ipotizzando che la velocità della luce fosse indipendente dal moto della sorgente e dell'osservatore.

Queste sono le ipotesi dalle quali egli derivò "i postulati" sui quali fondò la teoria della relatività ristretta :

– **le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali**

– **la velocità della luce è costante in tutti i sistemi di riferimento inerziali**

Normalmente si dice che con l'esperimento di Michelson e Morley si verifica "l'indipendenza della velocità della luce" da quella della sorgente rispetto all'osservatore.

In realtà nell'interferometro sorgente e osservatore durante moto sono solidali fra loro e quindi la loro velocità relativa è sempre uguale a zero, qualunque sia l'orientamento dei bracci.

Lo strumento non è dunque in grado di produrre uno scorrimento delle frange di interferenza con la rotazione.