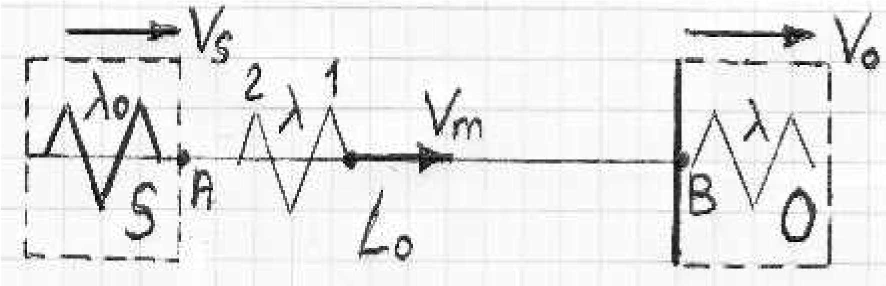
– **Teoria dell' effetto Doppler**, **specchio riflettente**, **postulati di Einstein sulla velocità della luce ed effetto Doppler relativistico**

L'effetto Doppler si manifesta con una variazione della frequenza del segnale rilevato dall'osservatore, rispetto a quella del segnale emesso dalla sorgente, quando uno oppure entrambi si muovono rispetto al mezzo in cui si propaga.



Con riferimento alla figura, consideriamo inizialmente sorgente e osservatore immobili, rispetto allo spazio attraverso il quale il segnale si propaga.

In queste condizioni, il segnale di frequenza f_0, generato dalla sorgente, esce dal punto A, prima con il fronte d'onda **1** e successivamente con il **2**.

Nota la velocità di propagazione V_m, **caratteristica del mezzo** , si ottiene la lunghezza d'onda del segnale che si sta trasferendo :

$$\lambda_0 = V_m \cdot T_0 = \frac{V_m}{f_0}$$

Quando il segnale giunge all'osservatore, interagisce prima con il fronte 1 e alla distanza λ_0 , ossia dopo un tempo $T_0 = \frac{\lambda_0}{V_m}$, con il 2.

La frequenza rilevata sarà dunque ancora f_0 .

Supponiamo ora che la sorgente sia in moto, rispetto al mezzo, con velocità V_s , nella direzione indicata, e l'osservatore ancora immobile ($V_o = 0$).

Quando il fronte d'onda **1** , generato dalla sorgente, giunge all'uscita nel punto A, si separa dalla sorgente ed inizia a muoversi attraverso lo spazio con la velocità caratteristica V_m.

67z7

La sorgente, **che non è cambiata**, dopo un tempo T_0 emette il fronte d'onda **2**, che inizia anch'esso a muoversi nello spazio con la velocità V_m.
Questo secondo fronte non viene però emesso nel punto A, alla distanza λ_0 dal primo, **ma spostato nella direzione del moto**, in quanto la sorgente nel tempo T ha percorso lo spazio : $\Delta L_s = V_s \cdot T \simeq V_s \cdot T_0$.
La distanza tra i due fronti d'onda consecutivi, quindi la lunghezza d'onda, del segnale che si propaga nello spazio e dunque **che realmente è misurabile da un osservatore immobile**, sarà :

$$\lambda_s = \lambda_0 - \Delta L_s = \lambda_0 - V_s \cdot \frac{\lambda_s}{V_m} \simeq \lambda_0 - V_s \cdot \frac{\lambda_0}{V_m}$$

ovvero : $$\lambda_s = \lambda_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{V_s}{V_m}} \simeq \lambda_0 \cdot \left(1 - \frac{V_s}{V_m}\right) \simeq \frac{V_m - V_s}{f_0}$$

oppure : $$f_s = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_s}{V_m}\right) \simeq \frac{f_0}{1 - \frac{V_s}{V_m}}$$

Si noti che, nella forma approssimata, la relazione descrive il segnale visto dal sistema di riferimento solidale con la sorgente.
Si ha infatti il segnale che si presenta nello spazio con lunghezza d'onda λ_s e si propaga con una velocità data da $\left(V_m - V_s\right)$. La sua frequenza risulta quindi proprio quella generata f_0.
L'osservatore, immobile, solidale con il mezzo, vede invece un segnale con la lunghezza d'onda λ_s che si propaga con la velocità V_m e quindi avente una

frequenza : $$f_s = \frac{V_m}{\lambda_s} = V_m \cdot \frac{f_0}{V_m - V_s} = f_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_s}{V_m}}$$

In definitiva, se **la sorgente è in moto rispetto al mezzo di propagazione**,

67z8

e diretta verso l'osservatore con velocità V_s, la frequenza del segnale f_s che misura l'osservatore, fermo rispetto al mezzo di propagazione, è maggiore di quella generata f_0.

Si noti che la frequenza osservata aumenta con V_s e per $V_s = V_m$ si ottiene $f_s = \infty$.

Per $V_s > V_m$ si ha $f_s < 0$ e questo vuol dire che la sorgente non emette più alcun segnale e quindi, **se lo stesso segnale viene utilizzato per rivelarne l'esistenza**, essa non è più visibile.

La velocità di propagazione del segnale nel mezzo V_m, rappresenta dunque il valore massimo osservabile "con quel tipo di segnale".

Consideriamo ora la sorgente ferma rispetto al mezzo e l'osservatore in moto con velocità V_o, nella direzione del moto del segnale.

In questo caso i due fronti d'onda del segnale generato vengono emessi dalla sorgente alla distanza λ_0 e si muovono attraverso il mezzo alla velocità V_m. Sia nel riferimento della sorgente che in quello del mezzo, verrà osservata la frequenza :

$$f_0 = \frac{V_m}{\lambda_0}$$

Quando il segnale giunge sullo schermo, il fronte **1** viene assorbito nel punto B e, se esso fosse fermo, il fronte **2** verrebbe assorbito ad una distanza λ_0 dal primo, ossia dopo un tempo $T_0 = \dfrac{\lambda_0}{V_m}$.

Essendo però l'osservatore in moto, dopo un tempo T_0, quando il secondo fronte d'onda giunge nel punto B, lo schermo si sarà allontanato di :

$$\Delta L_o = V_o \cdot T_o .$$

Il tempo necessario perchè il fronte d'onda **2**, **che si sposta nel mezzo con la velocità V_m**, raggiunga la nuova posizione dello schermo risulta :

67z9

$$T_o = \frac{\lambda_0 + \Delta L_o}{V_m} = \frac{\lambda_0 + V_o \cdot T_o}{V_m} = \frac{\lambda_0}{V_m} + \frac{V_o \cdot T_o}{V_m}$$

da cui si ricava : $$T_o \cdot \left(1 - \frac{V_o}{V_m}\right) = \frac{\lambda_0}{V_m} = T_0$$

il periodo osservato sullo schermo risulta quindi :

$$T_o = T_0 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{V_o}{V_m}\right)}$$

e quindi la frequenza percepita dall'osservatore :

$$f_o = f_0 \cdot \left(1 - \frac{V_o}{V_m}\right) = f_0 \cdot \frac{V_m - V_o}{V_m}$$

La lunghezza d'onda osservata sarà:

$$\lambda_o = \lambda_0 + \Delta L_o = \lambda_0 + V_o \cdot T_o = \lambda_0 + V_o \cdot T_0 \cdot \frac{V_m}{V_m - V_o} =$$

$$= \lambda_0 + \lambda_0 \cdot \frac{V_o}{V_m - V_o} = \lambda_0 \cdot \left(1 + \frac{V_o}{V_m - V_o}\right)$$

da cui :

$$\lambda_o = \lambda_0 \cdot \frac{V_m}{V_m - V_o} = \lambda_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_o}{V_m}}$$

67z10

In generale, con sorgente ed osservatore in moto rispetto al mezzo, si avrà :

$$\lambda_o = \lambda_0 \cdot \frac{V_m^2}{\left(V_m + V_s\right) \cdot \left(V_m - V_o\right)} \simeq \lambda_0 \cdot \frac{V_m - V_s}{V_m - V_o}$$

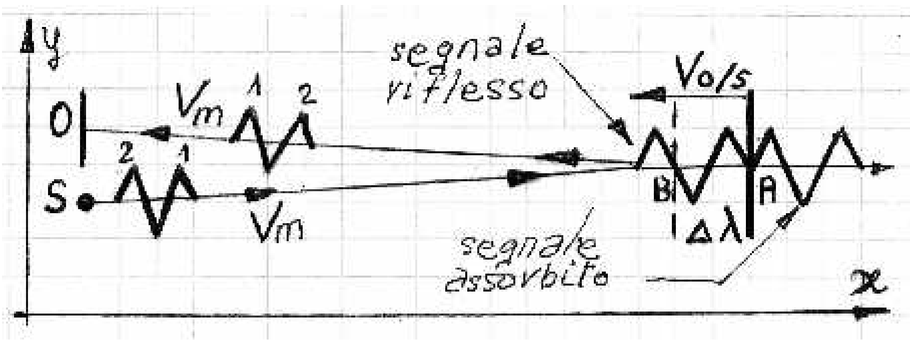
Se $V_o = V_s = V$, ossia se non si ha moto relativo tra osservatore e sorgente, con l'espressione approssimata l'osservatore non rileva alcun effetto, mentre con quella rigorosa esso rileva una lunghezza d'onda :

$$\lambda_o = \lambda_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V^2}{V_m^2}} \quad \text{e per } V \to V_m \quad \text{si ha } \lambda_o \to \infty$$

L'analisi che abbiamo riportato dell'effetto Doppler è quella che normalmente viene riportata nei testi di fisica e si ottengono due diversi risultati a seconda che in moto, rispetto al mezzo, si abbia la sorgente oppure l'osservatore, anche se rimane invariata la velocità relativa.

Inoltre, con velocità relativa uguale a zero, ossia con $V_s = V_o$, si ottiene per la frequenza $f_o = f_0$ per qualsiasi valore di V_m, quindi in qualsiasi sistema di riferimento (con le relazioni approssimate).

Questo è però in contraddizione con i risultati che si ottengono sostituendo lo schermo, **osservatore**, con una superficie perfettamente riflettente, in modo che possa diventare la **sorgente** del segnale riflesso.



Con riferimento alla figura, nella quale il sistema di assi $\left(x,y\right)$ è solidale con il mezzo di propagazione, il segnale emesso dalla sorgente S, di lunghezza d'onda λ_0 , si propaga con velocità V_m verso lo schermo, che si muove con una velocità $V_{o/s}$, rispetto al mezzo.

67z11

Se lo schermo è assorbente, si comporta da osservatore, mentre invece, se è riflettente, diventa sorgente del segnale riflesso, che si propaga con velocità V_m verso l'osservatore O, immobile rispetto al mezzo, il quale ne rileva la frequenza f_o.

E'chiaro che la frequenza del segnale che viene emesso/assorbito **dallo schermo dovrà dipendere "solo" dalle sue condizioni di moto e non dal fatto che esso venga considerato osservatore o sorgente, che definisce solo il destino futuro del segnale**.

Il segnale emesso dalla sorgente S, di frequenza f_0, si propaga con velocità V_m verso lo schermo, dove arriva nell'istante $t = 0$ con lunghezza d'onda λ_0 data da :

$$\lambda_0 = \frac{V_m}{f_0} .$$

Quando il fronte d'onda **1** giunge sullo schermo nel punto A e viene riflesso o assorbito, il fronte **2** si trova ad una distanza λ_0 e si muove verso lo schermo con la velocità V_m.

Contemporaneamente lo schermo si muove con velocità $V_{o/s}$ nella direzione del moto del segnale.

Dopo un tempo t dall'istante $t = 0$, lo schermo avrà raggiunto il punto B, dove intercetta il fronte **2** del segnale, che viene riflesso oppure assorbito, come il primo.
La distanza tra i due fronti **1** e **2** del segnale riflesso o assorbito sarà :

$$\lambda_o = \lambda_0 - \Delta\lambda$$

e quindi il periodo :

$$T_o = \frac{\lambda_0 - \Delta\lambda}{V_m} = \frac{\lambda_0 - V_{o/s} \cdot T_o}{V_m} = \frac{\lambda_0}{V_m} - \frac{V_{o/s} \cdot T_o}{V_m}$$

da cui si ricava :

$$T_o = T_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{V_{o/s}}{V_m}}$$

67z12

e quindi anche : $f_o = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_{o/s}}{V_m} \right)$; $\lambda_o = \lambda_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{V_{o/s}}{V_m}}$

Queste espressioni si applicano sia alla sorgente che all'osservatore. Se, per esempio, abbiamo la sorgente S in moto con velocità V_s e l'osservatore con velocità V_o, entrambi nello stesso verso con velocità positive, si applicherà due volte la stessa relazione e si ottiene :

$$\lambda_o = \lambda_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{V_s}{V_m}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_o}{V_m}} = \lambda_0 \cdot \frac{V_m^2}{(V_m + V_s) \cdot (V_m - V_o)}$$

la frequenza osservata sarà :

$$f_o = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_s}{V_m} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_o}{V_m} \right) = f_0 \cdot \frac{(V_m + V_s) \cdot (V_m - V_o)}{V_m^2}$$

Si noti che, se sorgente e osservatore sono in moto nello stesso verso, la loro azione sulla frequenza ha verso opposto, per cui l'osservatore ha tendenza a compensare l'azione della sorgente.
La compensazione non potrà però mai essere perfetta, anche se $(V_o = V_s)$, in quanto l'osservatore agisce sempre su una frequenza ridotta rispetto a f_0.
Con $V_o = V_s = V$, rispetto al mezzo, si ha infatti:

$$f_o = f_0 \cdot \left(1 - \frac{V^2}{V_m^2} \right)$$

Ricordiamo che V_m rappresenta la velocità di propagazione del segnale, che viene misurata da un osservatore immobile rispetto al mezzo.

L'espressione di f_o mette in evidenza che, anche in assenza di moto relativo tra sorgente ed osservatore, se essi si muovono rispetto al mezzo

67z13

con una velocità V **,** " **mantenendosi ad una distanza costante fra loro** ", l'osservatore riceve un segnale con frequenza minore di quella del segnale fornito dalla sorgente.

La frequenza rilevata dall'osservatore diminuisce con l'aumento della velocità fino a ridursi a zero in corrispondenza di $V = V_m$, quando il periodo T_o diventa infinitamente lungo e nessun segnale raggiunge più l'osservatore.

In queste condizioni la sorgente non è più osservabile. V_m diventa dunque il valore massimo della velocità che un punto qualsiasi presente nel mezzo può raggiungere per poter essere osservato con quel tipo di segnale.

Se il punto da osservare supera la velocità V_m, per poterlo ancora osservare è necessario utilizzare un segnale che si propaghi con una velocità maggiore.

Consideriamo, per esempio, due passeggeri all'interno di una carrozza di un treno in corsa con la velocità V_t rispetto alla stazione, disposti uno in testa e l'altro in coda.

Essendo l'aria, all'interno della carrozza, in moto con il treno ed i passeggeri, dato che abbiamo $V_s = V_o = 0$, se essi comunicano attraverso la voce, non si ha nessuna variazione di frequenza e la comunicazione sarà normale, per qualsiasi valore della velocità del treno.

Se ora i due passeggeri, tenendosi sempre alla stessa distanza, si affacciano ai finestrini per continuare la comunicazione, essendo l'aria esterna il mezzo di propagazione del segnale, **le velocità relative** rispetto al mezzo saranno $V_s = V_o = V_t$ e quindi si avrà una riduzione della frequenza data dalla :

$$f_o = f_0 \cdot \left(1 - \frac{V_t^2}{V_m^2} \right)$$

Quando la velocità del treno V_t diventa uguale a quella del suono V_m, non si ha più alcuna comunicazione ed i due passeggeri, per poter avvertire la loro reciproca presenza al finestrino, dovranno aprire gli occhi e comunicare con segnali più veloci del suono.

67z14

Nella trattazione che è stata esposta non esiste alcun riferimento a particolari segnali o valori della velocità di propagazione V_m .

L'unica condizione che abbiamo imposto è che essa sia una costante caratteristica del mezzo attraverso il quale il segnale si propaga.

Le relazioni che abbiamo così ricavato hanno dunque validità generale, quindi **si applicheranno anche ai segnali luminosi**.
Prima però di applicare i risultati a questo caso, sarà necessario fare alcune considerazioni/osservazioni sulle " **caratteristiche della luce che vengono imposte** dai postulati di Einstein "**, necessari per giustificare una errata interpretazione dei risultati forniti dall'esperimento di Michelson**.

Come abbiamo visto, dopo l'esperimento, venne attribuito alla velocità della luce il ruolo di costante universale, senza alcun supporto sperimentale e con molte contraddizioni con osservazioni sperimentali, con l'affermazione arbitraria che :
la velocità della luce assume il valore costante $C_l = \mathbf{299792.458}\ \frac{K_m}{sec}$
in qualsiasi riferimento.

Le implicazioni di questa scelta sono davvero molte e non pensiamo di poter dire molto in questa sede.
Vogliamo però fare alcune semplici osservazioni utili per la nostra trattazione.

Innanzitutto osserviamo che **la luce nell'universo non ha alcuna funzione particolare e rappresenta** " un sottoprodotto " **della degenerazione degli atomi**, **che evolvono spontaneamente verso configurazioni alle quali sono associati livelli di energia più bassi**.

L'importanza della luce nell'equilibrio e nell'organizzazione dell'universo, che noi osserviamo è dunque praticamente zero.

Qualsiasi altro valore della sua velocità di propagazione nello spazio avrebbe consentito l'evoluzione dello stesso universo, **con le stesse caratteristiche**.

Essa è invece molto importante per gli esseri viventi, **che la utilizzano**.

67z15

per comunicare, **per la verità non tutti**.
L'universo, **così sconfinato**, **non è stato però fatto per noi e dunque la luce** non può essere una sua caratteristica strutturale, **con l'importanza che noi le attribuiamo**.
Il valore della velocità che noi misuriamo è legato alle nostre osservazioni, nel nostro spazio e con i nostri riferimenti.

Il postulato di Einstein sulla velocità della luce, per la teoria degli spazi rotanti non è dunque accettabile, anche perchè, come abbiamo visto, "**la teoria è in accordo con i risultati dell'esperimento di Michelson e Morley**".

Osserviamo ancora che **con questo postulato tutti i sistemi di riferimento diventano equivalenti** e quindi anche l'effetto Doppler diventa indipendente dal sistema di riferimento e nel calcolo interviene solo il rapporto tra sorgente ed osservatore e **l'effetto Doppler viene detto relativistico**.

Si perde così la dipendenza degli effetti dalle velocità rispetto al mezzo e si acquista la simmetria dei ruoli di sorgente ed osservatore, con **gli effetti che diventano dipendenti solo dalla loro velocità relativa V**.

L'espressione della frequenza osservata, che si ricava assumendo la velocità della luce costante, normalmente riportata in tutti i testi di fisica, risulta :

$$f_o = f_0 \cdot \frac{\sqrt{C_l + V}}{\sqrt{C_l - V}}$$

Lo stesso Einstein in un articolo del 1905, trattando l'effetto Doppler prodotto da uno specchio riflettente, in moto rispetto alla sorgente con una velocità V, considerando la riflessione come **un processo doppio**, **di assorbimento e successiva riemissione**, applicando la sua teoria, ricava, per la frequenza osservata, l'espressione :

$$f_o = f_0 \cdot \frac{1 - 2 \cdot \dfrac{V}{C_l} \cdot \cos\alpha + \dfrac{V^2}{C_l^2}}{1 - \dfrac{V^2}{C_l^2}}$$

67z16

che, per un angolo d'incidenza $\alpha = \mathbf{0}$, diventa :

$$f_o = f_0 \cdot \frac{C_l - V}{C_l + V}$$

Applicando la nostra analisi a una qualsiasi perturbazione, per l'espressione della frequenza del segnale riflesso da uno specchio in moto con velocità la $V_{s/o}$, rispetto al mezzo, abbiamo ricavato la relazione :

$$f_o = f_0 \cdot \left(\mathbf{1} - \frac{V_{s/o}}{V_m} \right)$$

che, applicata alla luce, diventa :

$$f_o = f_0 \cdot \frac{C_l - V_{s/o}}{C_l}$$

che differisce da quella fornita da Einstein, per il denominatore, che risulta C_l invece di $\left(C_l + V_{s/o}\right)$. L'effetto praticamente doppio si ottiene considerando nella riflessione due fasi distinte: **una di assorbimento seguita da quella di emissione** (si tratta di una scelta assolutamente arbitraria).

Consideriamo sorgente e specchio riflettente montati sugli estremi di un'asta rigida, che viene messa in moto con una velocità $V_{s/o}$ (ricordiamo l'esempio dei due passeggeri affacciati ai finestrini del treno in moto).

– **Applicando l'espressione fornita da Einstein al sistema**, **si ottiene** :

$$V = V_s - V_o = \mathbf{0} \quad \text{e quindi :} \quad f_o = f_0$$

– **Applicando la stessa espressione separatamente a sorgente ed osservatore**, **si ricava** :

$$f_s = f_0 \cdot \frac{C_l + V_s}{C_l - V_s}$$

67z17

$$f_o = f_s \cdot \frac{C_l - V_0}{C_l + V_0} = f_0 \cdot \frac{C_l + V_s}{C_l - V_s} \cdot \frac{C_l - V_0}{C_l + V_0} = f_0$$

Il risultato è in accordo con la simmetria prevista dal postulato di Einstein.

–**Applicando l'espressione generale**, **che è stata ricavata senza alcuna ipotesi restrittiva sulla velocità della luce**, **si ottiene** :

$$f_o = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_s}{C_l} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_o}{C_l} \right) = f_0 \cdot \left(1 - \frac{V^2}{C_l^2} \right)$$

Un semplice esperimento per verificare la relazione potrebbe essere quello di osservare il segnale, su un sistema mobile, dopo un numero molto elevato di riflessioni, per amplificare gli effetti.

Anche se la differenza dei risultati forniti dalle due relazioni **è normalmente trascurabile**, non lo è certamente dal punto di vista concettuale e merita un ulteriore approfondimento.

Per poter focalizzare il problema, è necessario ricordare che:
la propagazione per onde **di energia nello spazio coincide con la propagazione di una perturbazione dell'equilibrio tra le caratteristiche fisiche dello spazio stesso** (dunque nulla di materiale).

Per poter fare un'analisi coerente, il primo punto da concordare è che cosa si deve intendere per luce.
Qualsiasi argomento riguardante la luce viene trattato nella fisica ritenendola una perturbazione di qualcosa a carattere ondulatorio, **che si propaga nello spazio**, **trasferendo energia** e le stesse equazioni di Maxwell sono state ricavate partendo proprio dalla propagazione di una perturbazione per onde attraverso lo spazio.

Il fatto che la fisica definisca questa perturbazione **campo elettromagnetico** senza alcuna indagine sulla sua natura, non è certo una risposta e il problema di chiarire che cosa si trasferisce rimane.

Dall'analisi del processo di emissione della luce da parte degli atomi si vede

67z18

che essa nasce come perturbazione dell’equilibrio dinamico dell’atomo, che viene ristabilito "allontanando la perturbazione" creata in direzione radiale ad una distanza teorica $R = \infty$, in realtà verrà poi intercettata da qualche altro sistema che verrà così perturbato, ecc. .

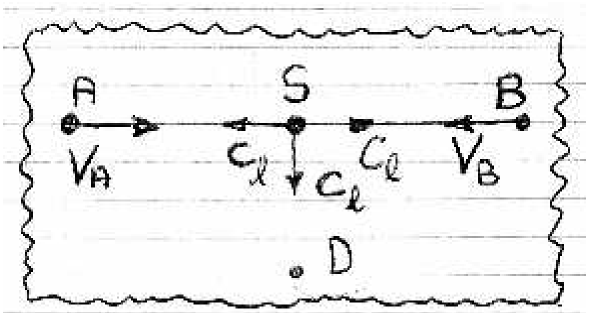
Se lo spazio viene inteso come " il nulla " oppure come spazio geometrico, è chiaro che nulla si potrà propagare, in quanto **non esistono caratteristiche o equilibi da perturbare**.

Nella teoria degli spazi rotanti " lo spazio vuoto" è inteso come " spazio fisico puro", in cui non è presente materia organizzata su un livello di aggregazione uguale o superiore a quello dell’elettrone, ma **capace di trasferire azioni ed energia da un punto all’altro**.

Questo spazio ci consente di trattare, nell’effetto Doppler, **la luce come tutte le altre perturbazioni**.

Se una perturbazione si propaga nel mezzo con una **velocità caratteristica propria del mezzo**, **dire che per la luce essa assume sempre lo stesso valore**, dal punto di vista fisico vuol dire che " **qualsiasi** osservatore è sempre immobile rispetto allo spazio che lo circonda ", **qualunque sia la sua velocità**, **rispetto ad un qualsiasi riferimento** .

Se lo spazio che ci circonda è uno "spazio fisico puro", non solo geometrico, diventa difficile immaginare come esso possa muoversi in tutte le direzioni, trascinato per miliardi di Km, con velocità dipendenti dai diversi osservatori, presenti **contemporaneamente** nello stesso luogo.



Con riferimento alla figura, supponiamo di avere nello spazio una sorgente di luce che emette fotoni che si propagano in tutte le direzioni con una velocità, che viene misurata da un osservatore D**, immobile rispetto alla sorgente**,

67z19

e risulta di valore C_I, dipendente unicamente dalle caratteristiche del mezzo.
Abbiamo dunque :

$$V_{FD} = C_I + \left(V_D - V_S\right) = C_I$$

Per l'isotropia e l'omogeneità dello spazio, diciamo che anche in tutte le altre direzioni, la velocità di propagazione dei fotoni vale C_I.

Se ora, nella direzione indicata, aggiungiamo l'osservatore A, in moto con la velocità V_A rispetto al mezzo e quindi anche rispetto alla sorgente, **secondo il buon senso di Galileo**, **l'osservatore vedrà i fotoni muoversi con una velocità** :

$$V_{FA} = C_I + \left(V_A - V_S\right)$$

Se imponiamo, con Einstein, che anche in questo caso si abbia : $V_{FA} = C_I$, essendo $V_A \neq 0$, ed essendo la velocità C_I immutabile, perchè il mezzo non è cambiato, dobbiamo ammettere che il moto dell'osservatore A con velocità V_A, **costringa tutta la colonna di spazio fino alla sorgente a muoversi con la stessa velocità** e questo porta realmente a $V_{FA} = C_I$, rispettando le ipotesi fatte.

Se questo si verifica per l'osservatore A, si deve verificare anche per B e per tutti i possibili osservatori, a qualsiasi distanza dalla sorgente.
Accettando questo ragionamento, dovremmo aspettarci uno spazio in moto **contemporaneamente** in tutte le direzioni, chiaramente impossibile.

Un'alternativa a questo ragionamento, per avere $C_I =$ **costante**, può essere quella di considerare **l'osservatore capace di influenzare a distanza**, con la sua velocità, quella del fotone.
E' facile verificare come anche questa soluzione sia assurda.

L'ultima alternativa è accettare le trasformazioni di Galileo, apportando la correzione dovuta al valore V_m "non infinito" del segnale che viene utilizzato per comunicare, e rinunciare così al postulato di Einstein che prevede l'indipendenza della velocità della luce dall'osservatore.

67z20