

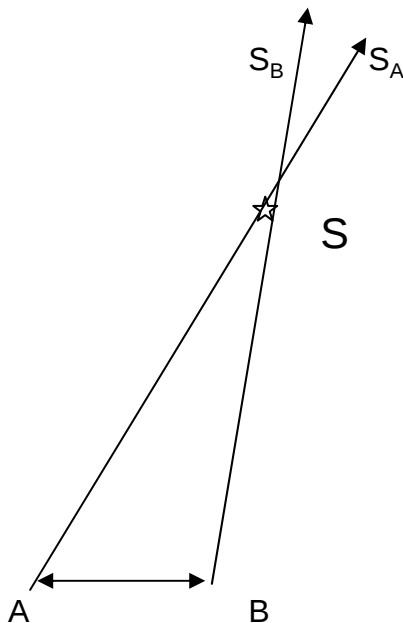
ABERRAZIONE STELLARE (1727) ESPERIMENTO DI MICHELSON (1881)

Ledo Stefanini

(versione di livello elevato)

ABERRAZIONE STELLARE

- L'aberrazione della luce fu scoperta nel 1727 dall'astronomo James Bradley come risultato inaspettato della sua ricerca delle parallassi stellari. Egli osservò una variazione annuale delle posizioni apparenti delle stelle; ma questa variazione non era spiegabile come effetto di parallasse.



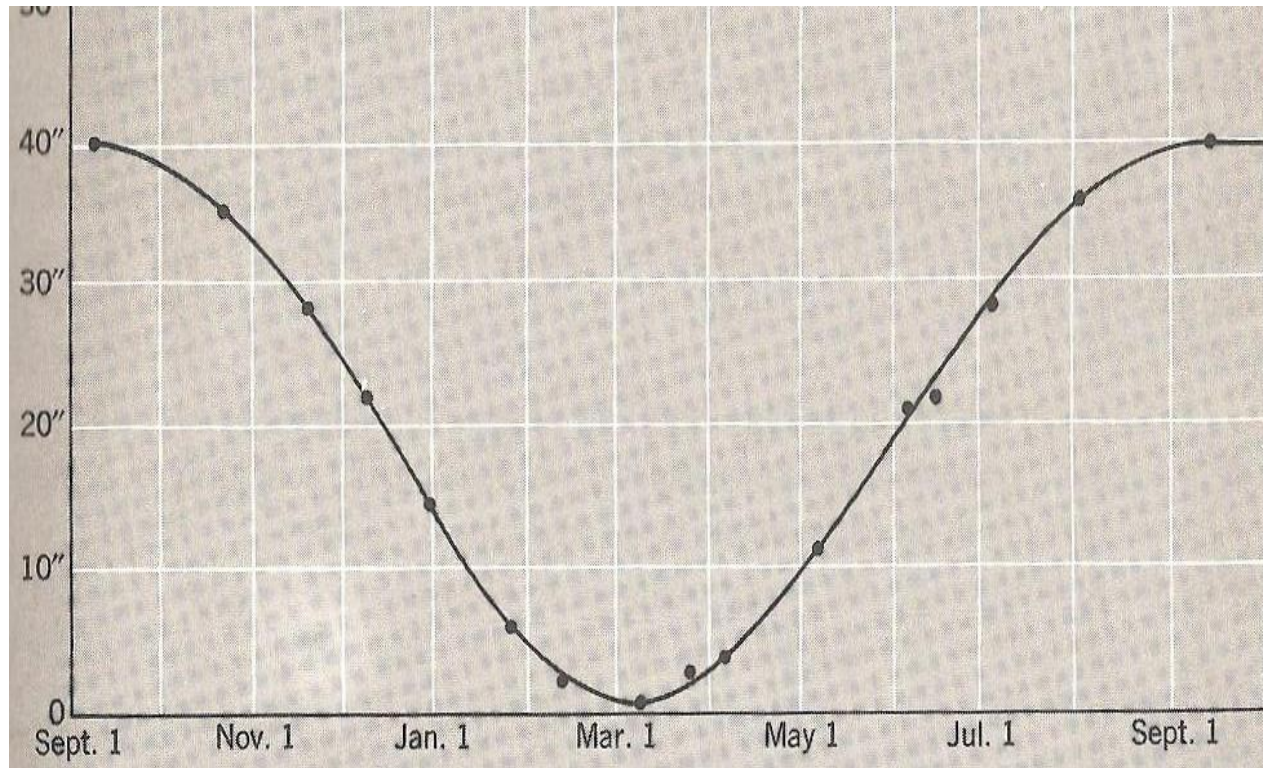
- Per comprendere che cosa accade pensiamo che la Terra si muova su un percorso rettilineo, invece che circolare, di moto armonico e che dalla Terra si osservi una stella S.

- In conseguenza dello *spostamento* della Terra, l'immagine della stella sullo sfondo delle stelle più lontane dovrebbe descrivere un segmento di moto armonico con un periodo uguale al periodo di oscillazione terrestre (365 giorni) rappresentabile con un'equazione del tipo

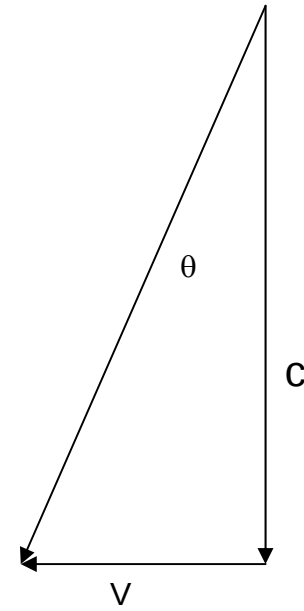
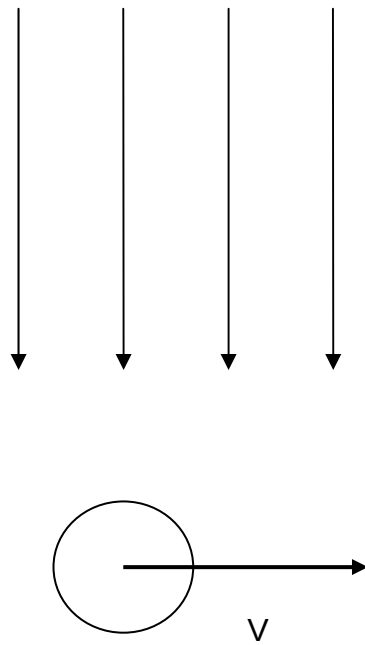
$$\theta = \theta_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

- E questo effettivamente fu osservato da Bradley, ma con un'inspiegabile caratteristica: lo spostamento è sfasato di un quarto di periodo, ovvero è massimo quando dovrebbe essere nullo ed è nullo quando dovrebbe essere massimo.

Aberrazione osservata per γ Draconis



- La spiegazione escogitata da Bradley per il fenomeno fu che lo spostamento della posizione della stella non dipende dalla *posizione* della Terra, ma dalla sua *velocità*.
- Consideriamo una stella che si trovi sulla verticale del piano orbitale della Terra. La luce che l'osservatore terrestre riceve (e che consideriamo come costituita da corpuscoli che viaggiano con velocità c) è animata da due velocità: la velocità della luce c e la velocità orbitale della Terra V (in direzione opposta al moto della Terra).



- Ciò che l'osservatore terrestre osserva è uno spostamento periodico della stella in relazione alla *velocità* della Terra. Se la luce arriva perpendicolarmente al piano dell'eclittica, lo spostamento angolare è tale che

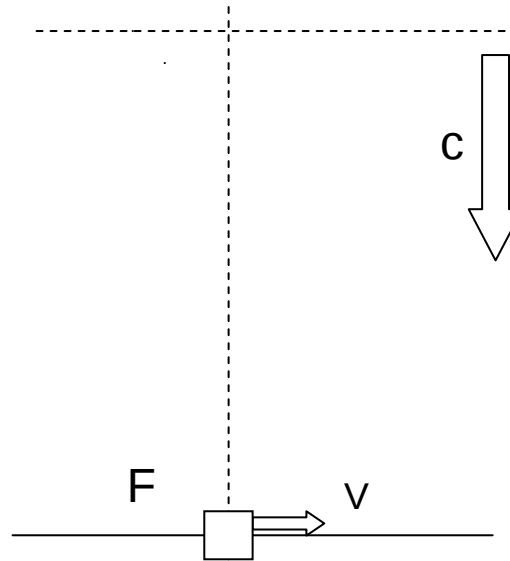
$$\tan \theta = \frac{V}{c}$$

- e poiché la velocità della luce è circa 10^4 volte maggiore della velocità orbitale della Terra,

$$\theta \cong 10^{-4} \quad \Rightarrow \quad \theta \cong 21''$$

- Nel corso di sei mesi la velocità della Terra si inverte e quindi si ha un mutamento di posizione della stella di 42 secondi d'angolo.
- Questa fu la spiegazione data da Bradley al fenomeno da lui scoperto: dovuto alla composizione della velocità della luce con la velocità della Terra.

- Si tratta di una spiegazione basata sul modello corpuscolare di Newton, quindi non accettabile per chi, con Huygens, descriva la luce come un fenomeno ondulatorio. Ancora meno per chi, con Maxwell, riconosca la luce come un'onda elettromagnetica.
- È quindi necessario vedere se il modello ondulatorio, unito all'ipotesi dell'etere luminifero, è in grado di dare una spiegazione dell'aberrazione della luce.

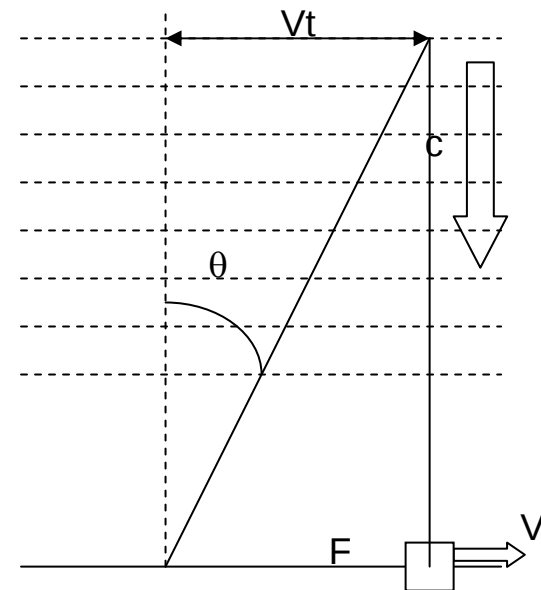


- La figura rappresenta un'onda piana che incide perpendicolarmente all'asse x , con velocità c .
- F indica il fuoco di un telescopio che corre attraverso l'etere con velocità V .

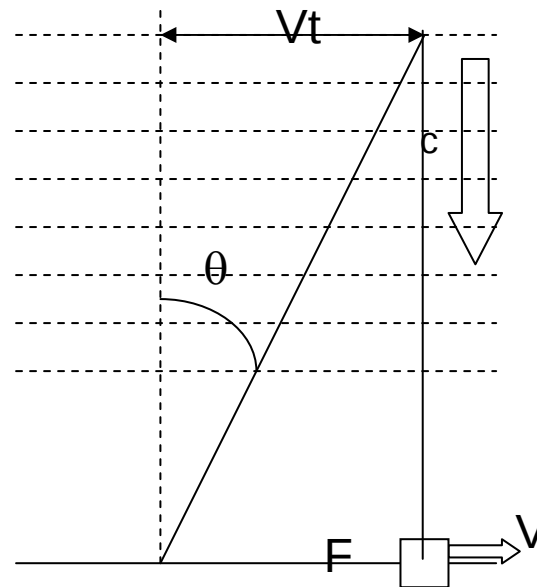
- I segnali che il fuoco raccoglie, in un intervallo di tempo t non provengono da una stessa onda, ma, mentre si sposta di un tratto Vt , dalle onde distribuite su uno spazio ct .

- Nell'intervallo di tempo t , la parte dell'onda che viene raccolta nel fuoco è quella che appartiene alla retta che congiunge la posizione iniziale del fuoco con il punto a quota ct e a distanza Vt , quindi inclinata di un angolo tale che

$$\tan \theta = \frac{V}{c}$$



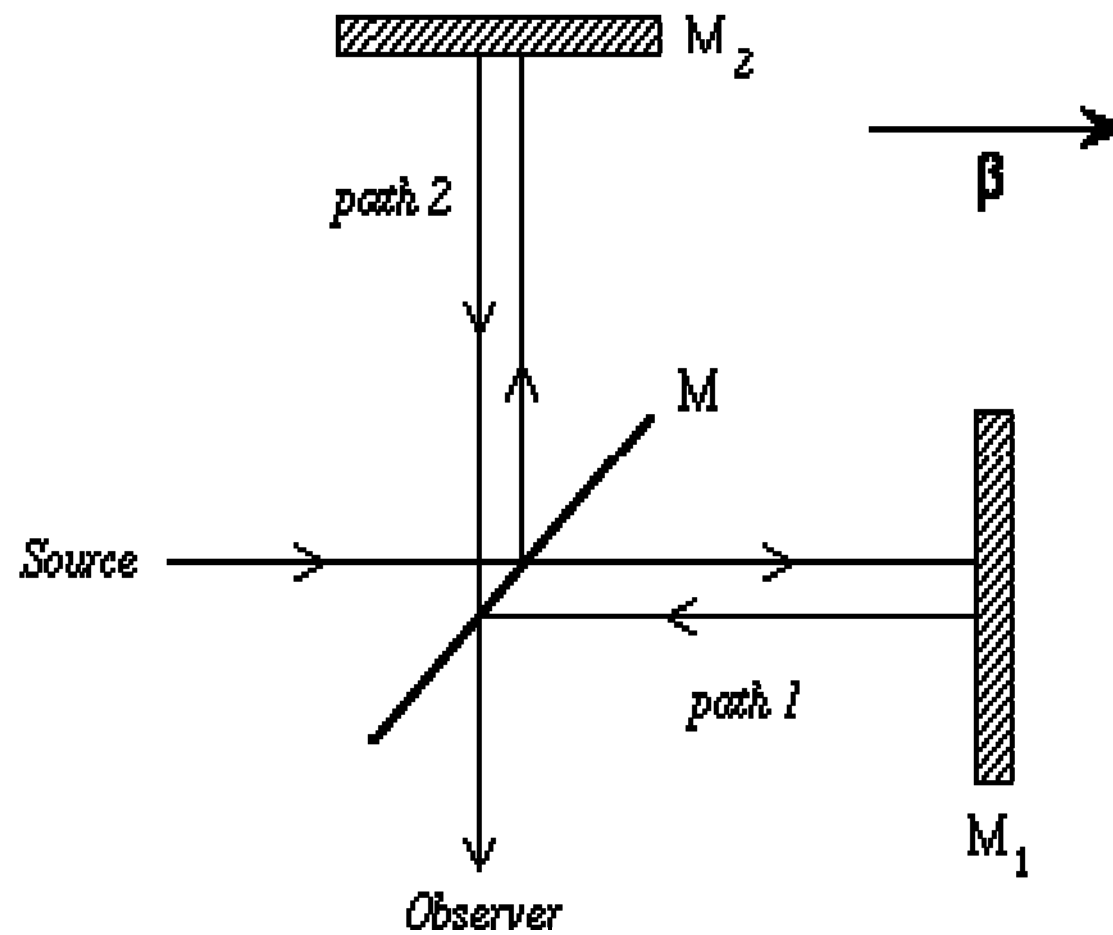
- Nelle questioni che riguardano la cinematica della luce è possibile ragionare utilizzando il modello corpuscolare: i risultati coincidono con quelli che si ottengono con il modello ondulatorio.



ESPERIMENTO DI MICHELSON E MORLEY

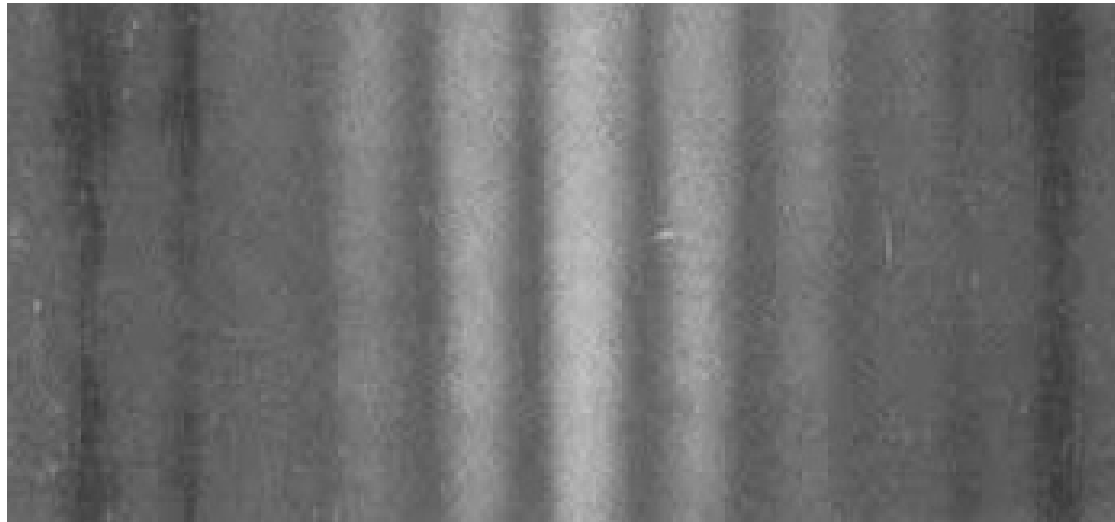
- Michelson, inventò uno strumento di straordinaria sensibilità per mettere in evidenza l'influenza del moto della Terra sulla velocità della luce: l'interferometro.

Figure A



- Una sorgente luminosa (a sinistra) invia un fascio di luce collimato che passa attraverso una lastra di vetro semiargentata (disposta a 45°) che lo divide in due: una parte prosegue nella primitiva direzione, una parte viene deviata ad angolo retto. I due fasci incidono su due specchi che li riflettono nella stessa direzione e tornano alla lastra semiargentata. Qui i due fasci vengono di nuovo riuniti e osservati attraverso un telescopio.

Ciò che si osserva è la figura di
interferenza dei due fasci



- Mettiamo che, a causa del moto della Terra, spiri un vento d'etere da destra verso sinistra di velocità V . Per la particella di luce che percorre la traiettoria 1, la velocità all'andata sarà $c-V$ e al ritorno $c+V$.
- Il tempo impiegato nell'intero percorso sarà

$$T_1 = \frac{L}{c-V} + \frac{L}{c+V} = 2 \frac{cL}{c^2 - V^2} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} \cong \frac{2L}{c} \left[1 + \left(\frac{V}{c}\right)^2 \right]$$

- Il tempo impiegato dalla particella che percorre la traiettoria 2 è semplicemente

$$T_2 = 2 \frac{L}{c}$$

che è minore del primo.

- Se le due particelle di luce partono simultaneamente dallo specchio semiargentato, ritornano in momenti diversi. Il ritardo dell'una rispetto all'altra è

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{2L}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^2$$

- Nel calcolo non abbiamo tenuto conto del fatto che anche la particella che percorre la traiettoria 2 deve compensare il vento d'etere che la investe perpendicolarmente allo spostamento, ma la cosa non comporta mutamenti essenziali. L'unica conseguenza è che la differenza dei tempi si riduce alla metà.

- Ora, un intervallo di tempo si può esprimere anche con una distanza: quella percorsa dalla luce in tale intervallo. Nel nostro caso tale distanza è
- Questa si può misurare in lunghezze d'onda e diventa

$$L \left(\frac{V}{c} \right)^2$$

$$\frac{L}{\lambda} \left(\frac{V}{c} \right)^2$$

- Si immagini ora di ruotare l'intero sistema di 90° , in modo da scambiare il ruolo dei due bracci; il ritardo sarà lo stesso, ma in senso opposto e la differenza rispetto al caso precedente sarà

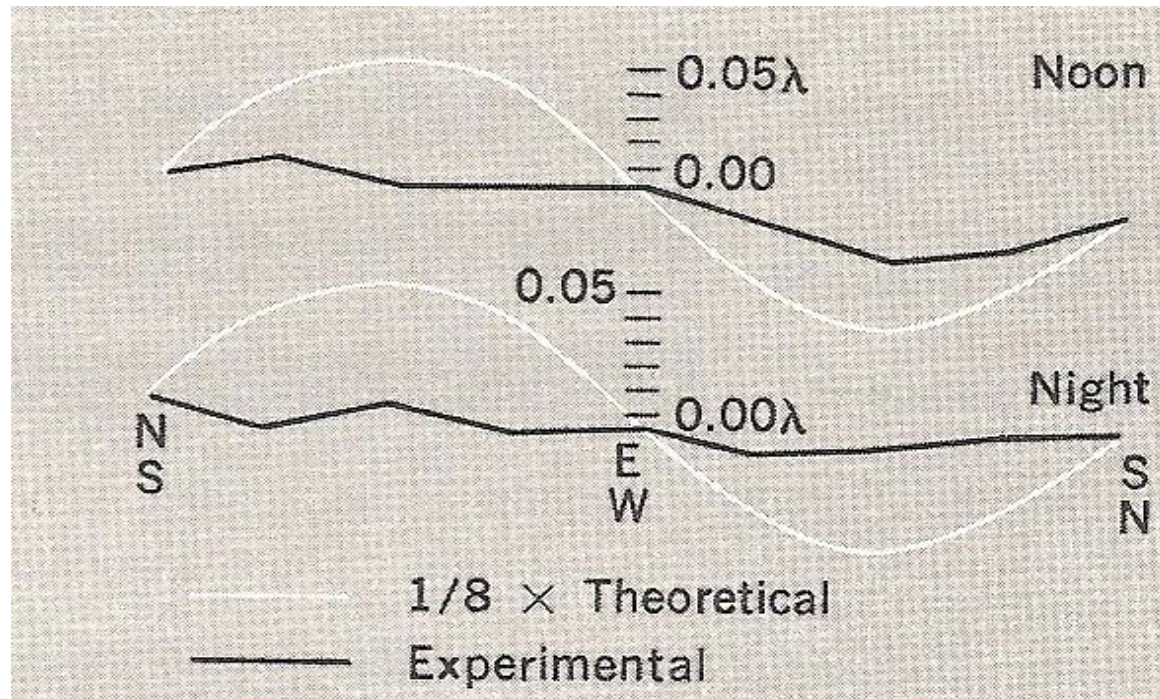
$$\delta = 2 \frac{L}{\lambda} \left(\frac{V}{c} \right)^2$$

- Nell'apparato originale di Michelson $L = 1,2$ m e la luce utilizzata era luce visibile ($\lambda = 0,6$ mm). Se assumiamo per V la velocità orbitale della Terra (30 km/s), dobbiamo aspettarci uno spostamento delle frange di interferenza di circa

$$\delta = 2 \frac{L}{\lambda} \left(\frac{V}{c} \right)^2 \approx 2 \frac{1,2}{0,6 \times 10^{-6}} \left(\frac{3 \times 10^4}{3 \times 10^8} \right)^2 = 0,04$$

- Ciò che ci possiamo aspettare, ruotando l'interferometro di 90° è uno spostamento delle frange di 4 centesimi di frangia, ammesso che il vento d'etere abbia una velocità di 30 km/s. Si tratta di un effetto piccolo, ma tuttavia rilevabile.

Risultati ottenuti da Michelson



Michelson a proposito dei risultati:

«The result of the hypothesis of the stationary ether is thus shown to be incorrect.»

- L'aberrazione stellare fu interpretata come prodotta dalla composizione della velocità della luce con la velocità orbitale della Terra. L'esperimento di Michelson dimostra che l'idea di un universo riempito da un fluido che funge da sostegno per la propagazione delle onde elettromagnetiche (l'etere luminifero) porta a previsioni in conflitto con i risultati sperimentali.
- Questo conflitto fu superato solo con un radicale mutamento delle concezioni dello spazio e del tempo, per opera di Albert Einstein ed Hermann Minkowski all'inizio del 1900.