

Università di Pisa
Corso di Perfezionamento in
“Strategie didattiche per promuovere
un atteggiamento positivo
verso la matematica e la fisica”

Relazione Laboratorio 12
L'esperimento di Michelson e Morley
Primo semestre

Ester Balducci
4 aprile 2007

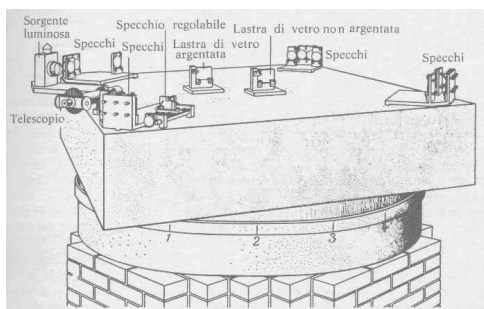
Ho partecipato a questo laboratorio con il collega Andrea Farusi
 Abbiamo preparato questo laboratorio con il seguente filo conduttore
 ‘ Stiamo parlando a un pubblico che conosce l’argomento e che in ogni caso sarà capace di cercare da solo le notizie storiche e lo sviluppo di questo esperimento. Quindi la parte informativa rispetto a tutto ciò deve essere breve e sommaria , mentre sarà più opportuno sottolineare l’aspetto didattico dell’esperienza in sé , che fra l’altro , per ovvii motivi , non può affatto essere riprodotta in laboratorio.
 Quindi in laboratorio, cosa facciamo vedere agli studenti? ‘

E’ nata così la nostra ricerca. Prima abbiamo preso l’articolo originale pubblicato sull’*American Journal* n°203 del Novembre 1887 da Michelson e Morley ricavando da esso lo scopo che si erano prefissati con l’attuare questo esperimento e l’esatta dimensione dell’apparecchiatura : interferometro e la piattaforma su cui l’interferometro galleggiava.

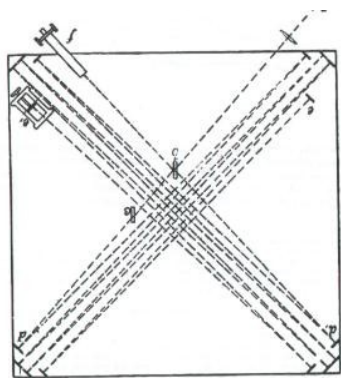
Titolo dell’articolo: ***On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether***

Sostanzialmente la questione era la seguente: se la luce è un’onda qual è il mezzo in cui si propaga?

Poiché tutte le esperienze fino a quel momento , confermavano la natura ondulatoria della luce (Huygens nel 1678 aveva dimostrato che le onde trasversali dovevano avere una velocità inferiore nei mezzi più densi, Young e Fresnel alla fine del settecento avevano dimostrato che la luce interferisce e diffrange, come le altre onde e Foucault nel 1862 aveva misurato la velocità della luce nell’acqua che risultava ridotta a circa i $\frac{3}{4}$ di quella nell’aria confermando i calcoli di Huygens) , questa onda aveva bisogno di un mezzo di propagazione che doveva avere una natura di per sé contraddittoria: essere permeabile ai corpi solidi (cioè doveva farsi attraversare dai pianeti senza fare attrito) , ma doveva essere anche rigidissimo per permettere alla luce di propagarsi con quella velocità elevata. Inoltre se questo etere era fermo e la Terra si muoveva dentro di esso, doveva essere possibile calcolare la velocità relativa della Terra rispetto all’etere , misurando quella relativa dell’etere rispetto alla Terra, visto che noi siamo solidali alla Terra. Come fare ? L’esperimento di MM nasce appunto per fare questa misura



Disegni originali dell’articolo

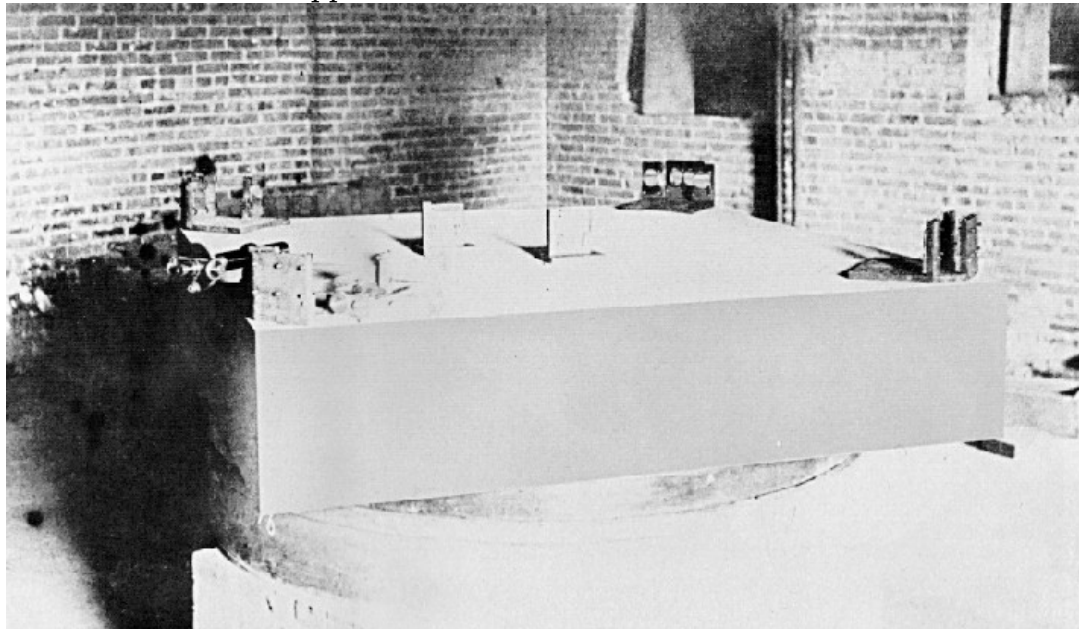


Misure reali dell’apparecchiatura:

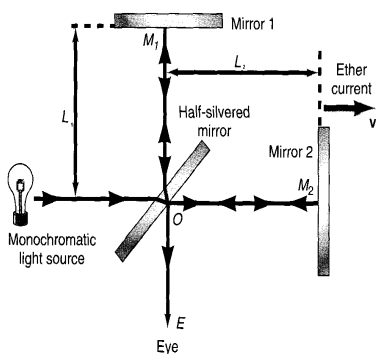
La piattaforma su cui è montato l’interferometro è un blocco di pietra a base quadrata, con lato del quadrato di 1,5 m e altezza 0,3 m . Il tutto è appoggiato su un anello di legno di 1,5m di diametro esterno e 0,7 m di diametro interno e spesso 0.25 m. Tutto ciò galleggia sul mercurio contenuto in una vasca di ferro . con profondità pari 1,5 cm . Il tutto poggia poi su un piedistallo ottagonale di mattoncini cementati .

L’interferometro : ai quattro angoli della pietra quadrata sono posti 4 specchi in modo tale che il cammino della luce viene quadruplicato e dunque in questa esperienza la luce percorre quasi 11m di cammino su ogni braccio. Nell’articolo viene specificato che poiché lo specchio al centro è semiriflettente, bisogna porre sul cammino del raggio che viene riflesso, una lastra compensatrice di vetro, per far sì che i due raggi praticamente abbiano lo stesso percorso non solo per la parte che riguarda la lunghezza ,ma anche per tutto il resto. Fisicamente i due cammini sono uguali.

Questa invece è la foto dell'apparecchiatura vera

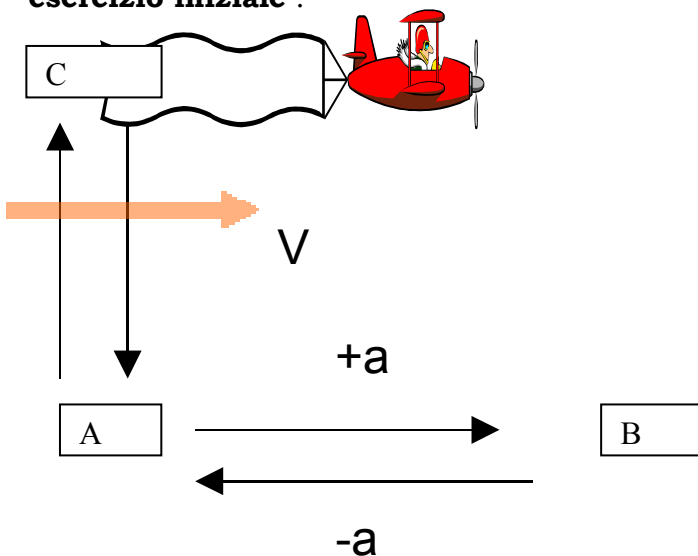


Naturalmente in sede di presentazione abbiamo descritto brevemente anche come funziona un interferometro cosa che ovviamente è un prerequisito irrinunciabile all'interno di una eventuale unità didattica .



La luce che parte da una lampada di luce monocromatica colpisce uno specchio semitrasparente , cioè che in parte riflette la luce e la dirige verso lo specchio M_1 e in parte la fa passare e così il raggio colpisce lo specchio M_2 . Successivamente i raggi tornano indietro e interferiscono nel punto O provocando una figura di interferenza nell'occhio dell'osservatore che guarda . Dal punto di vista sperimentale questo accade se e solo se gli specchi sono posti a distanze diverse da O perché la luce percorre cammini diversi, oppure se la luce percorre i due tratti uguali con velocità diverse.

Prima di presentare l'esperimento ad una classe , è opportuno eseguire questo semplice **esercizio iniziale** :



•Due aerei fanno questo tragitto : il primo parte dalla città A raggiunge B e ritorna ad A .L'altro parte da A , raggiunge C e ritorna ad A . I due tragitti sono perpendicolari e uguali ad L. Il modulo delle loro velocità è uguale ,pari ad a.
Si chiede di calcolare la differenza fra il tempo per percorrere il tragitto A B e quello per fare il tragitto AC con il vento che soffia nella direzione AB con velocità v.



Risoluzione

Nel tratto AB la velocità è la somma dei moduli delle due velocità $|\alpha'| = |a + v| = a + v$

Nel tratto BA ne è la differenza $|\alpha'| = |a - v| = a - v$.

Per cui nel tratto AB il tempo è

$$t_{A \rightarrow B} = \frac{L}{a + v}$$

E nel tratto BA il tempo è

$$t_{B \rightarrow A} = \frac{L}{a - v}$$

Cosicchè il tempo totale di ABA è : $t_{ABA} = \frac{L}{a + v} + \frac{L}{a - v} = \dots = \frac{2L}{a} \left(1 - \frac{v^2}{a^2} \right)^{-1}$.

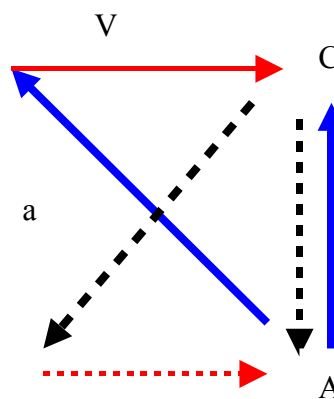
Nel tratto CA

La velocità sia all'andata che al ritorno ha lo stesso modulo dato da

$$|\alpha'| = |a + v| = \sqrt{a^2 - v^2}$$

Perciò il tempo per il tratto CAC è il seguente :

$$t_{ACA} = \frac{2L}{\sqrt{a^2 - v^2}} = \frac{2L}{a \sqrt{1 - \frac{v^2}{a^2}}} = \frac{2L}{a} \left(1 - \frac{v^2}{a^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$



Valutiamo la differenza fra i due tempi. Per questo calcolo è opportuno che i ragazzi ricordino questa approssimazione

Poiché

$$\left(1 + x \right)^n \approx 1 + nx$$

Allora

$$\left(1 - \frac{v^2}{a^2} \right)^{-1}$$

è tale che

$$n = -1 \quad e \quad x = -\frac{v^2}{a^2} \quad \text{vale} \quad 1 + \frac{v^2}{a^2}$$

$$t_{ABA} = \frac{2L}{a} \left(1 + \frac{v^2}{a^2} \right)$$

$$t_{ACA} = \frac{2L}{a} \left(1 - \frac{v^2}{a^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \approx \frac{2L}{a} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{a^2} \right)$$

Così

E alla fine la differenza fra i due tempi è

Quindi quanto più sarà grande **a** rispetto a **v**
quanto più difficilmente il cronometro potrà apprezzare le differenze.

In seguito va descritto in classe , attraverso un modello che può essere visualizzato con Cabri , l'intento dell'esperimento di MM.

Abbiamo infatti costruito un modello interattivo con Cabri di cui riportiamo il disegno

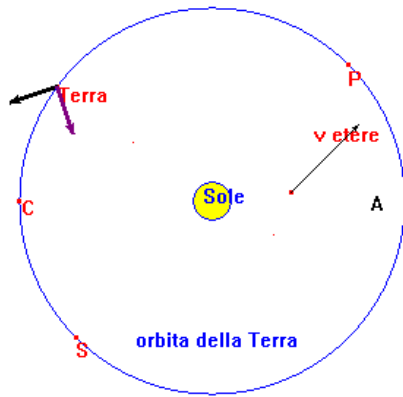


fig. 1

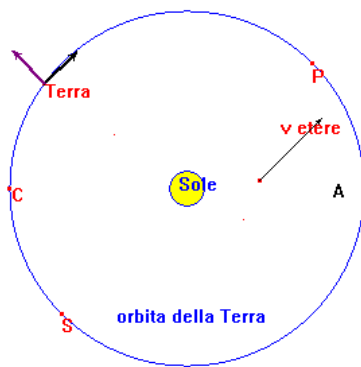
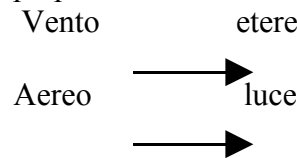


fig. 2

Nel modello la V dell'etere è fissata in modo arbitrario, infatti non si sa come si muove questo etere. La Terra invece tramite il tasto animazione del menù può ruotare intorno al Sole sulla sua orbita , perché è stata costruita vincolandola a quella circonferenza. Inoltre il sistema di riferimento cartesiano vincolato con la Terra , rappresenta i due bracci dell'interferometro di MM , e possono anch'essi ruotare . Quindi impostando una doppia animazione si può comprendere che durante il cammino della Terra intorno al Sole e ruotando l'apparecchiatura sulla Terra, ci sarà sicuramente un momento del giorno in cui un braccio dell'interferometro è parallelo alla direzione dell'etere come mostra la figura 2. In tal caso la velocità dell'etere si comporrà nei due bracci dell'interferometro con la velocità della luce esattamente come la velocità del vento si combinava nei due tratti perpendicolari con la velocità dell'aereo



In analogia per quanto riguarda il nostro esperimento terrestre

$$V_{Terra} = 30 Km / s = 3 \cdot 10 Km / s$$

$$a_{luce} = c \approx 300000 Km / s = 3 \cdot 10^5 Km / s$$

$$\Delta t = \frac{1}{2} \left(\frac{3 \cdot 10 Km / s}{3 \cdot 10^5 Km / s} \right)^2 \cdot \frac{2 L m}{3 \cdot 10^5 Km / s} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2 L m}{3 \cdot 10^5 Km / s} = \frac{L}{3} \cdot 10^{-16} s$$

Pertanto L doveva essere per lo meno dell'ordine del metro per riuscire ad apprezzare qualcosa, poiché il periodo dell'onda elettromagnetica della luce gialla prodotta dal sodio è

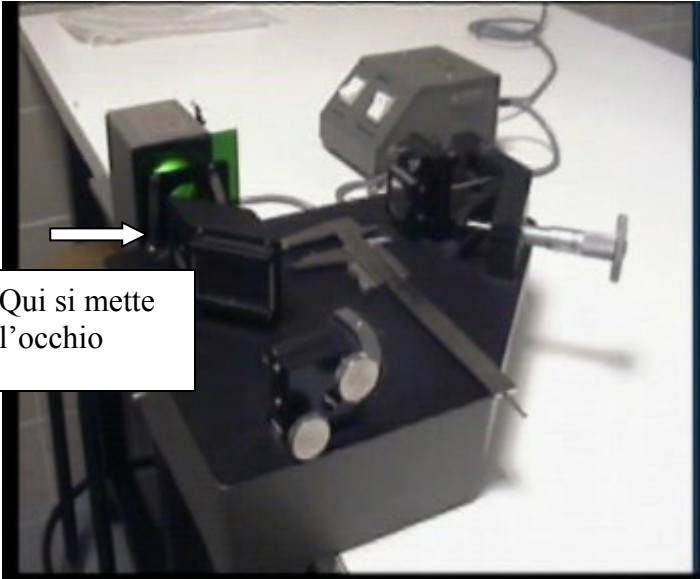
$$T = 20 \cdot 10^{-16} s$$

Il ritardo di fase fra i due cammini sarà di $p=0,19$ cioè si aspettavano uno spostamento di 0,38 frange per una rotazione di 90° .

A questo punto possiamo dare il risultato dell'esperimento e cioè che MM non osservarono alcuna figura di interferenza dimostrando così che l'etere e la Terra erano rispettivamente fermi l'uno rispetto all'altro mentre in realtà avevano semplicemente dimostrato che la velocità della luce è invariata rispetto alla direzione che scegliamo per misurarla.

E dunque in laboratorio cosa ce li portiamo a fare i ragazzi?

Ce li portiamo per fare vedere le enormi difficoltà tecniche che MM hanno dovuto superare per fare questo esperimento. Infatti prendiamo un interferometro da laboratorio



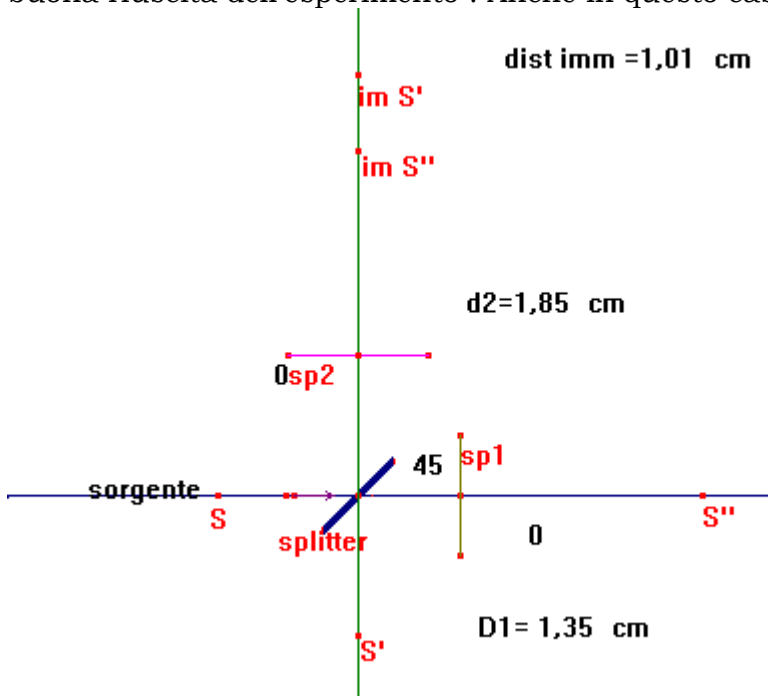
Qui si mette l'occhio

Il calibro posto a fianco serve per far capire le reali dimensioni dell'apparecchiatura

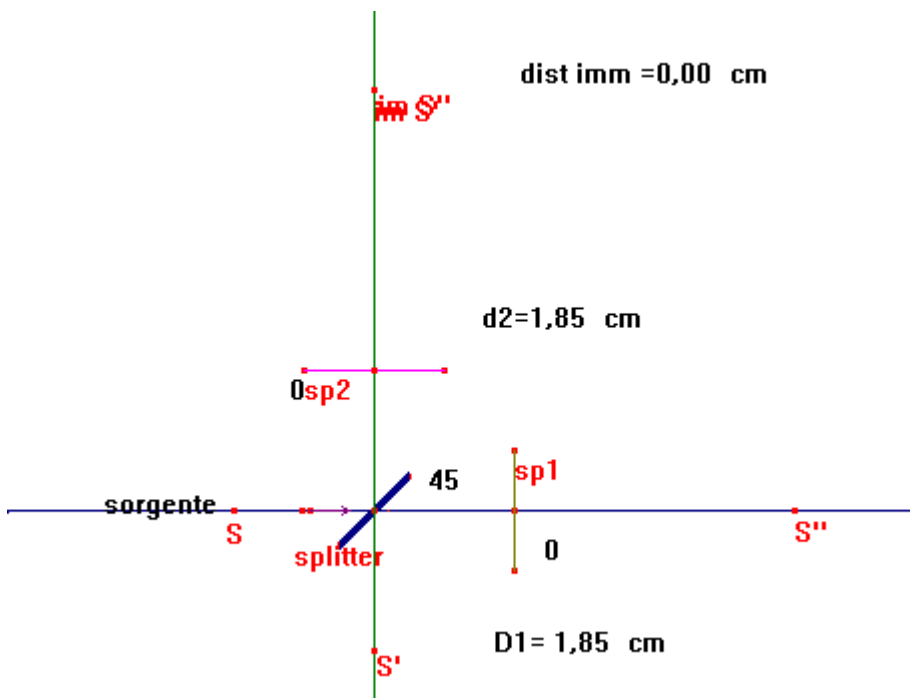
Si osserva la pesante lastra di acciaio che ne costituisce la base e due specchi posti su direzioni ortogonali, lo splitter centrale e la luce monocromatica verde.

Siamo infatti andati a provare l'apparecchio nel laboratorio al dipartimento di Fisica col prof. Minguzzi, che ci ha fatto vedere la sensibilità straordinaria di questa apparecchiatura.

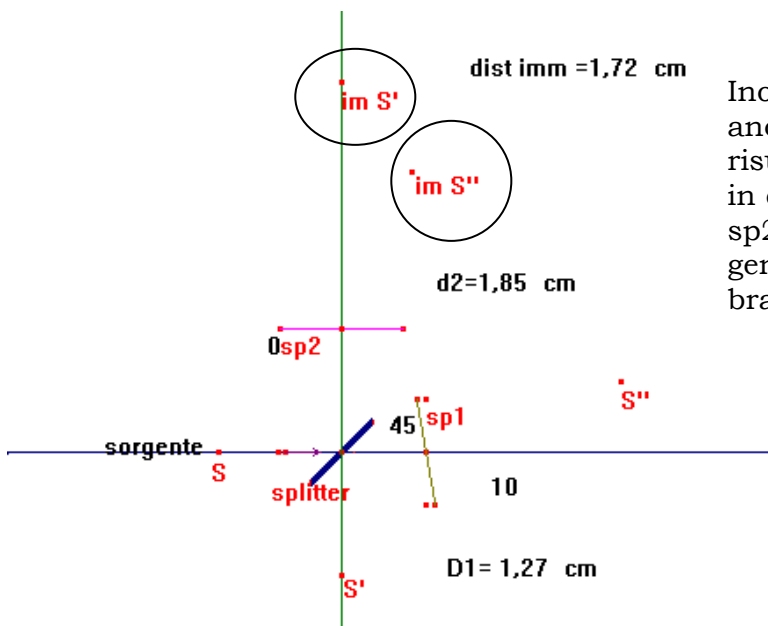
Abbiamo provato a variare l'angolo fra gli specchi e la lunghezza dei bracci per vedere come l'interferenza spariva alla nostra vista. Modificando le distanze con la vite micrometrica, quindi di millesimi di millimetro, l'interferenza sparisce. Infatti a seguito di questa esperienza abbiamo costruito un secondo modello con Cabri per fare vedere come fecero MM a ottenere braccia uguali e direzioni perpendicolari necessarie alla buona riuscita dell'esperimento. Anche in questo caso il modello è interattivo.



Possiamo infatti modificare con l'opzione numeri di Cabri sia l'angolo dello specchio 1 sp1, sia di sp2, che dello splitter, e studiare come cambia l'allineamento di S' e S'' che sono costruite rispettando le leggi della riflessione dello splitter e degli specchi. Anche le distanze dei due specchi dallo splitter possono essere cambiate attraverso i numeri d1 e d2 che misurano proprio quelle distanze, e vediamo nella figura che S' e S'' sono allineate ma non coincidenti, come mostra il numero dist imm = 1,01 cm, questo significa che d1 e d2 non sono uguali fra loro come si legge in questa figura.



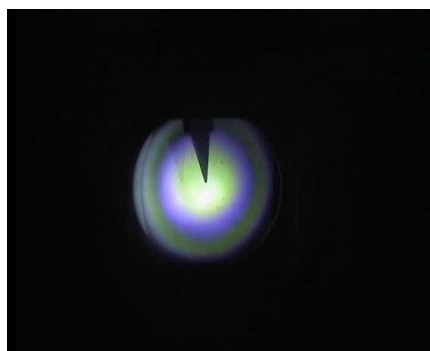
Riportando invece gli specchi alla stessa distanza dallo splitter le due immagini si sovrappongono perfettamente. Con questo semplice espediente MM furono in grado di mettere gli specchi alla stessa distanza esatta. Ma ci voleva questa geniale pensata, per essere precisi all'ordine del micrometro!!!!



Inoltre con questo modellino si può anche osservare che le immagini non risultano più allineate se $sp1$ non è in direzione perpendicolare rispetto a $sp2$. E quindi anche questo è un geniale espediente per ottenere i bracci perpendicolari fra loro

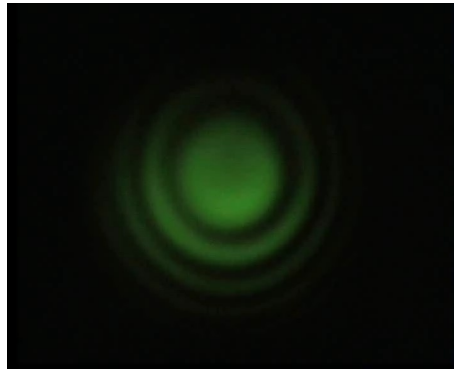
In laboratorio quindi abbiamo provato a fare i dovuti allineamenti e regolamentazioni delle distanze e non è stato così immediato.

Riporto la foto dell'interferenza che si ottiene non appena le due immagini principali vengono a coincidere, ma che sparisce non appena si cambiano di poco le misure



Quindi dopo aver sperimentato la difficoltà della messa a punto dell'apparecchiatura, che secondo noi sarebbe davvero da proporre alla classe , per far capire le difficoltà dell'esecuzione di questo esperimento, ci siamo interessati alla sensibilità specifica dell'apparecchiatura .

Le frange di interferenza si presentano così e toccando appena la pesantissima lastra d'acciaio con la punta di un dito si osserva immediatamente lo spostamento di frange ,e lo stesso si osserva spostando di poco gli specchi.



Infine siamo andati a ricercare quali libri di testo riportano l'esperimento. In genere i testi per i licei scientifici lo riportano , senza assolutamente dare questo taglio alla descrizione dell'esperimento e davvero non viene resa giustizia alla genialità dei due scienziati che risolsero i numerosi problemi tecnici. Nei libri di testo invece che si rivolgono ad altri ordini di scuole questa parte viene omessa del tutto.

L'esperienza mi ha molto appassionato .Ho imparato molto e penso che il lavoro svolto possa avere già una ricaduta sulla didattica per questo anno scolastico.