

Interferometro e Onde

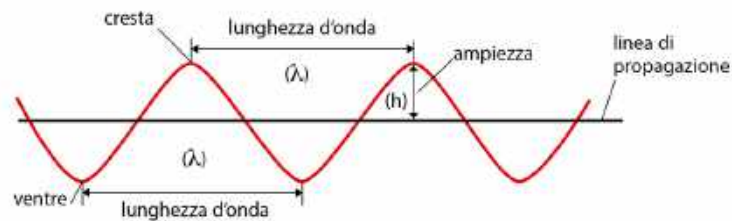
Liceo Augusto Righi

16 Giugno 2023

1 Introduzione Teorica

1.1 Onde

Un'onda è una perturbazione che nasce da una sorgente e si propaga nel tempo e nello spazio trasportando energia o quantità di moto, senza comportare un associato spostamento della materia. Un'onda può propagarsi sia attraverso un mezzo materiale, sia nel vuoto; ad esempio l'onda elettromagnetica e l'onda gravitazionale possono propagarsi anche in assenza di materia, mentre altri fenomeni ondulatori esistono unicamente in un mezzo fisico, come ad esempio il suono. L'onda è caratterizzata da creste (punti più alti) e da ventri (punti più bassi):



Si possono rappresentare le onde attraverso funzioni sinusoidali in funzione della posizione e del tempo

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

dove:

- A è l'ampiezza dell'onda, ovvero la distanza tra la cresta e l'asse orizzontale;

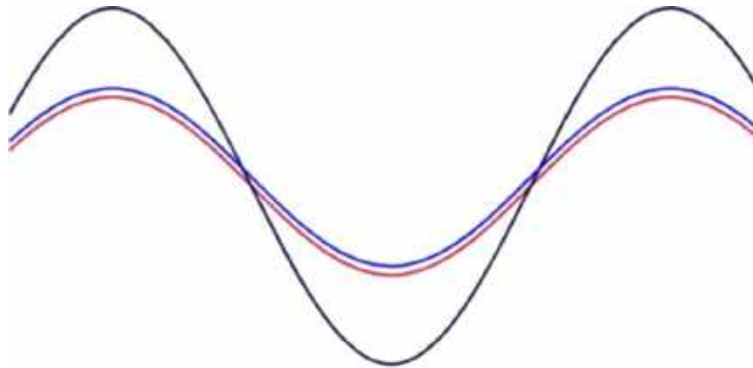
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dove λ è la lunghezza d'onda, ovvero la distanza tra due creste o due ventri
- $kx - \omega t$ è la fase dell'onda

1.2 Interferenza

l'interferenza è la conseguenza della sovrapposizione di più flussi ondulatori; in questo esperimento le onde che vengono sovrapposte hanno la stessa lunghezza d'onda. Il risultato dell'interferenza è dato dalla somma delle due onde.

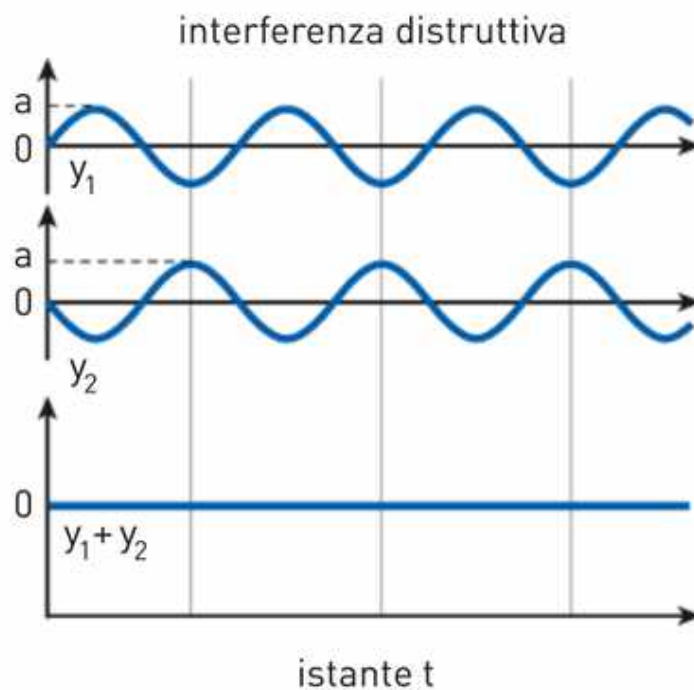
1.2.1 Interferenza costruttiva

Quando due onde si incontrano, hanno diversi modi di sovrapporsi. Se le creste o i ventri delle due onde coincidono, si ha l'interferenza costruttiva.



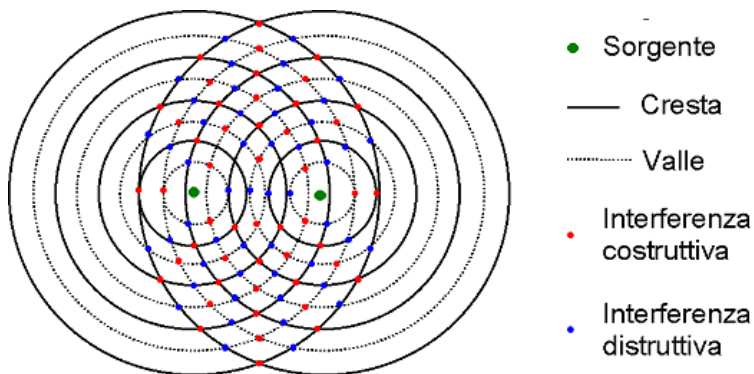
1.2.2 interferenza distruttiva

Quando invece i ventri di una coincidono con le creste dell'altra, si ha un'interferenza distruttiva:

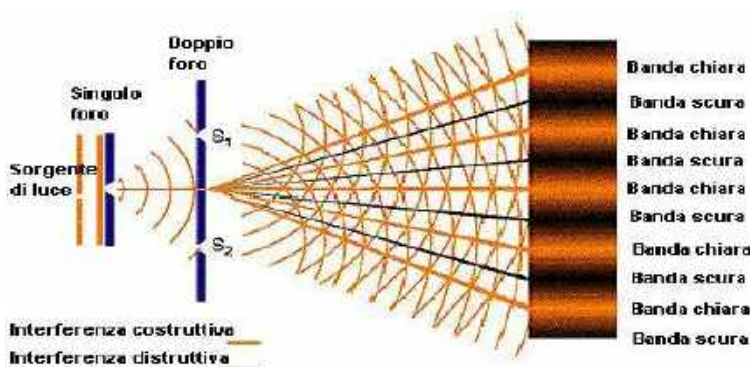


1.2.3 Interferenza in due dimensioni

Quando due onde che si propagano in due dimensioni si incontrano, come ad esempio quando si lanciano due sassi in mare, l'interferenza segue questo schema:



Se stiamo parlando di onde elettromagnetiche, in particolare della luce visibile, i punti di interferenza distruttiva corrispondono a punti di buio (frange scure), mentre l'interferenza costruttiva si manifesta con della luce (frange luminose). Ponendo uno schermo davanti a due sorgenti luminose con la stessa frequenza otterremmo delle frange chiare e delle frange scure che si alternano:



Per capire cosa succede in un determinato punto, consideriamo due sorgenti puntiformi e un punto P su uno schermo:

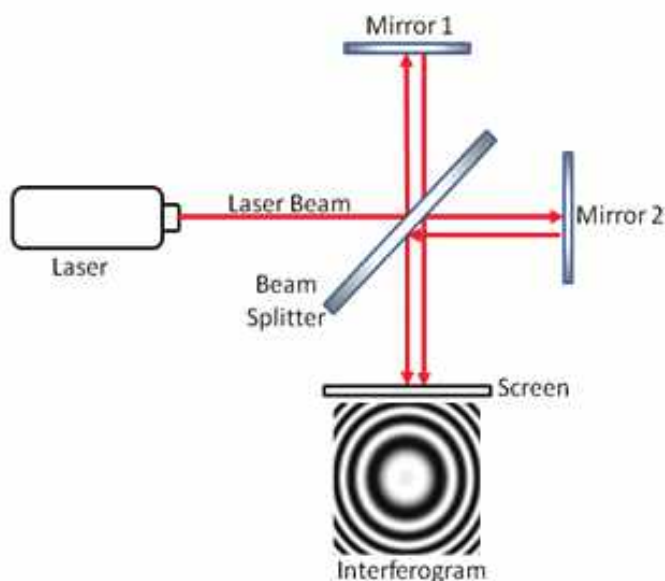
- C'è interferenza costruttiva (cresta con cresta e ventre con ventre) se la differenza tra i cammini è un multiplo intero della lunghezza d'onda: $d = n\lambda$ con $n = 0, 1, 2, \dots$
- C'è interferenza distruttiva (cresta con ventre e ventre con cresta) se la differenza tra i cammini è un multiplo intero della lunghezza d'onda più metà lunghezza d'onda: $d = \frac{2n + 1}{2}\lambda$ con $n = 0, 1, 2, \dots$

nel primo caso le due onde si dicono in fase, mentre nel secondo caso si dicono in opposizione di fase.

2 Interferometro

Lo strumento costruito è un interferometro ottico, uno strumento sensibile all'interferenza di due fasci luminosi, ottenuti inviando la luce prodotta da un laser di una determinata lunghezza d'onda su un beam splitter. I due fasci viaggiano successivamente lungo due bracci fra loro ortogonali e poi riflessi

indietro da due specchi, fino a convergere sullo stesso punto di uno schermo, dove può essere osservata la loro interferenza: poiché il cammino dei due fasci luminosi non è mai identico, la fase relativa dei raggi che raggiungono lo schermo non è più la stessa e questo sfasamento produce il fenomeno dell'interferenza.



2.1 Fascio di luce

L'interferometro richiede una sorgente di luce coerente, come un laser, per generare onde luminose coerenti con una lunghezza d'onda ben definita. La coerenza della luce è fondamentale per l'interferometria, in quanto consente alle onde di interferire in modo prevedibile. Il fascio di luce proveniente dalla sorgente viene indirizzato verso un divisore del fascio (beam splitter), che può essere un semitrasparente o uno specchio semiriflettente. Questo componente divide il fascio in due percorsi separati, noti come bracci dell'interferometro. I due bracci dell'interferometro ricevono i due componenti separati del fascio diviso. In un interferometro semplice, ciascun braccio può essere costituito da un percorso ottico di uguale lunghezza. Tuttavia, a seconda del tipo di interferometro, i bracci possono essere otticamente diversi, ad esempio, utilizzando specchi aggiuntivi, lenti o altre ottiche per modificare il percorso o la lunghezza ottica. Uno dei bracci dell'interferometro può contenere un cam-

pione o un oggetto di misurazione, che può essere un materiale sottoposto a esame, una superficie riflettente o qualsiasi oggetto di interesse per la misurazione delle sue proprietà ottiche. Alla fine dei bracci dell'interferometro, i due componenti del fascio vengono riflessi e ricombinati. Questo può essere fatto nuovamente con uno specchio semiriflettente o un dispositivo simile, in modo che i due componenti possano interferire tra loro. Il fascio ricombinato viene inviato a un rilevatore, che può essere una fotocellula, un fotodiodo o un'altra tecnologia di rilevamento della luce. Il rilevatore registra l'intensità del fascio luminoso, che può variare a causa dell'interferenza tra i due percorsi del braccio. I dati raccolti dal rilevatore vengono analizzati per estrarre informazioni sulle proprietà ottiche dell'oggetto in esame. L'interferenza tra i due percorsi del braccio può essere utilizzata per determinare la differenza di fase, la lunghezza ottica o altre proprietà dell'oggetto. Questa è solo una descrizione generale della costruzione di un interferometro. Esistono molti tipi diversi di interferometri con configurazioni ottiche specifiche per applicazioni diverse, come interferometri di Michelson.

2.2 Materiali

I materiali e gli strumenti adoperati per la realizzazione di un interferometro nel laboratorio di fisica, sono i seguenti:

- laser;
- tavola di legno cm 60x50x2 (cm);
- n. 6 molle a compressione inox di lunghezza 35 mm, di diametro 5mm, codice F0,7;
- n. 14 viti a brugola M3x20 mm, con rondelle e corrispondente chiave a brugola;
- n. 10 viti in inox M3x20 mm con rondelle;
- viti per legno M3x10 mm;
- n. 4 angolari;
- dadi per le viti a brugola in metallo;

- basette rettangolari forate da 4 cm x 1,5 cm, per il fissaggio di alcune parti sulla tavola;
- colla per metallo;
- scotch;
- tronchesine;
- pinze a punta piatta
- molletta per stendere i panni, con dimensione tale da permettere che il puntatore laser, una volta posizionato sulla molletta, mantenga la luce in prossimità del centro delle ottiche;
- squadra da disegno;
- acqua o alcool per pulire gli specchi da residui di colla.

2.3 Costruzione dell'interferometro

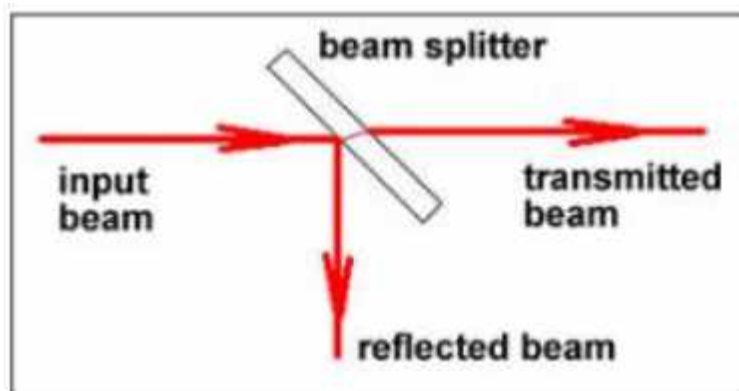
Una volta trovati gli strumenti sopra citati abbiamo iniziato a costruire l'interferometro. Di seguito i passaggi per la realizzazione:

2.3.1 Passo 1

Inizialmente abbiamo preso la nostra tavola di legno, utilizzando un metro si è tracciato il punto medio dei lati della tavola (rettangolo), successivamente utilizzando la squadra da 45° sono stati congiunti i punti.

2.3.2 Passo 2

Una volta aver ottenuto il centro, si è tracciata una linea inclinata di 45°, che riporta la posizione del beamsplitter. Si è fissato seguendo l'angolazione di 45° un angolare con due viti, sul quale è stato posizionato tramite l'ausilio di scotch il beam-splitter.



2.3.3 Passo 3

Successivamente, facendo attenzione a non toccare la lente con le mani, si è utilizzato un altro angolare, ancorandolo con altre due viti al piano; in seguito si è posizionata la lente su di esso con l'aiuto dello scotch.

2.3.4 Passo 4

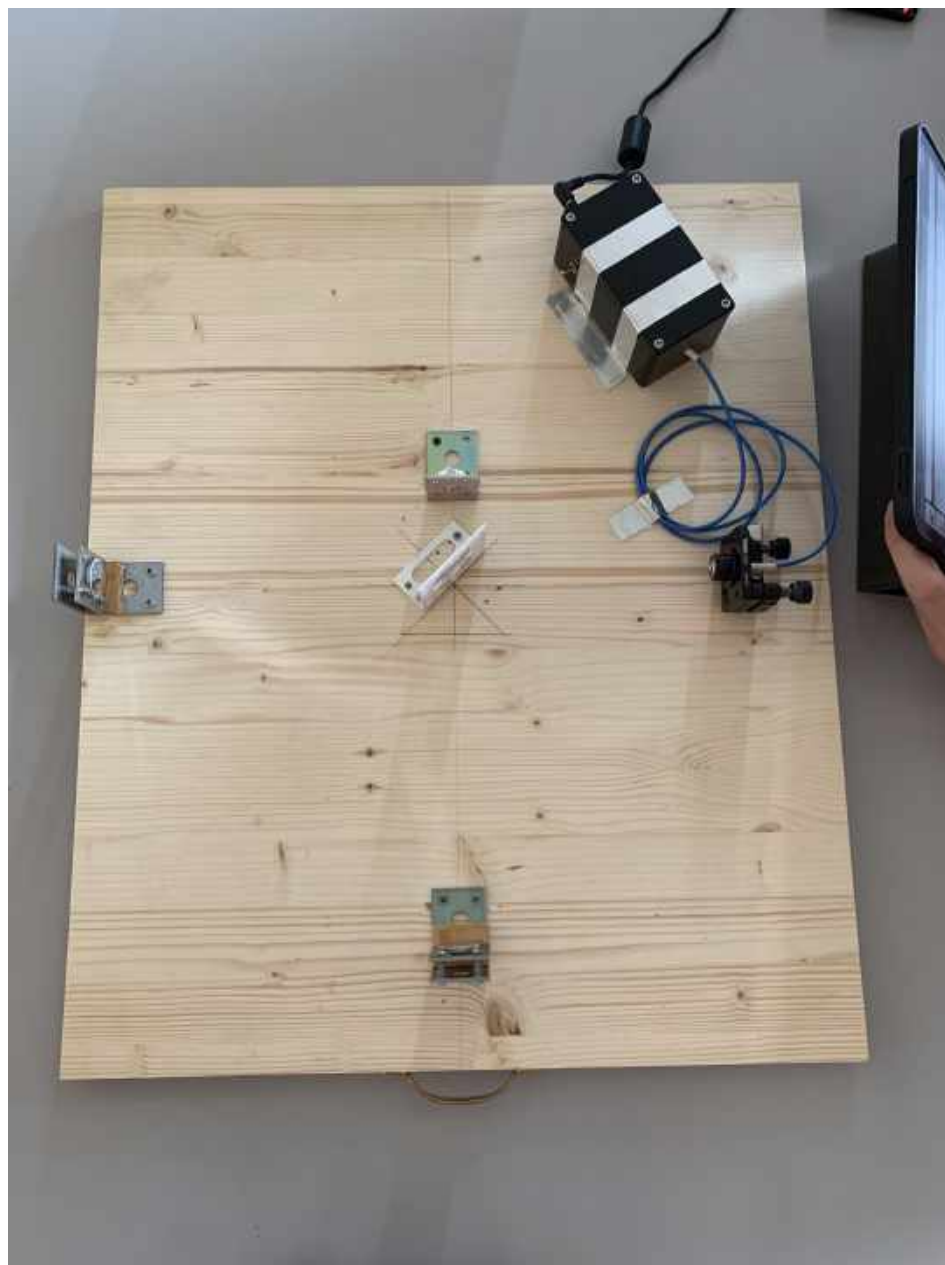
Si è proseguito con la realizzazione di due specchi, posizionati su una base metallica. La sequenza per il montaggio della base con lo specchio sul supporto angolare è: vite per metallo con rondella (da inserire in uno dei quattro buchi ai vertici dell'angolare), poi in serie, rondella, molla, rondella e infine, dopo l'inserimento nel foro della piastrina dove si è fissato lo specchio, un piccolo bullone (a esagono esterno da 5 mm). Le molle devono essere accorciate con le tronchesine a circa metà della lunghezza. Lo specchio viene fissato con 3 viti, due nella parte superiore e solo una in basso.

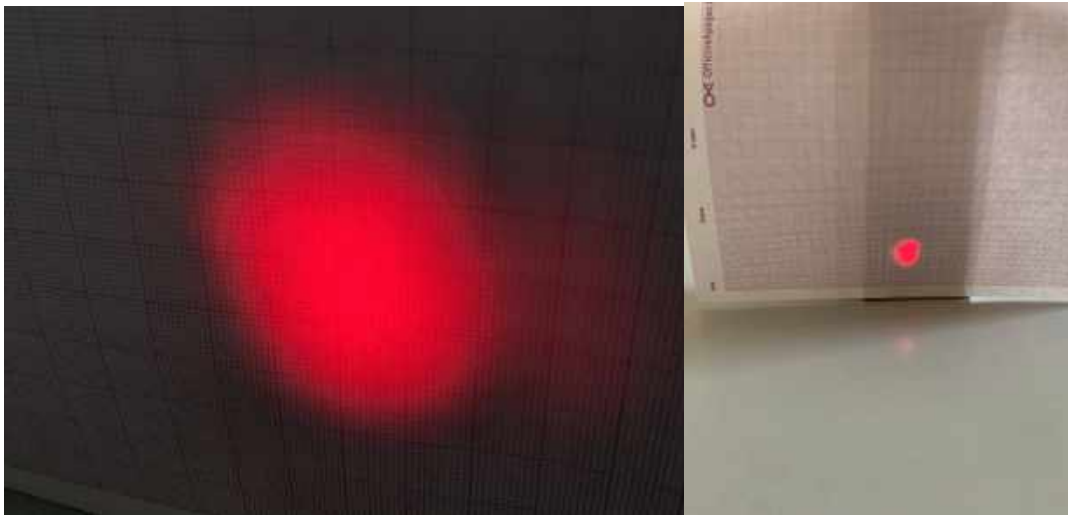
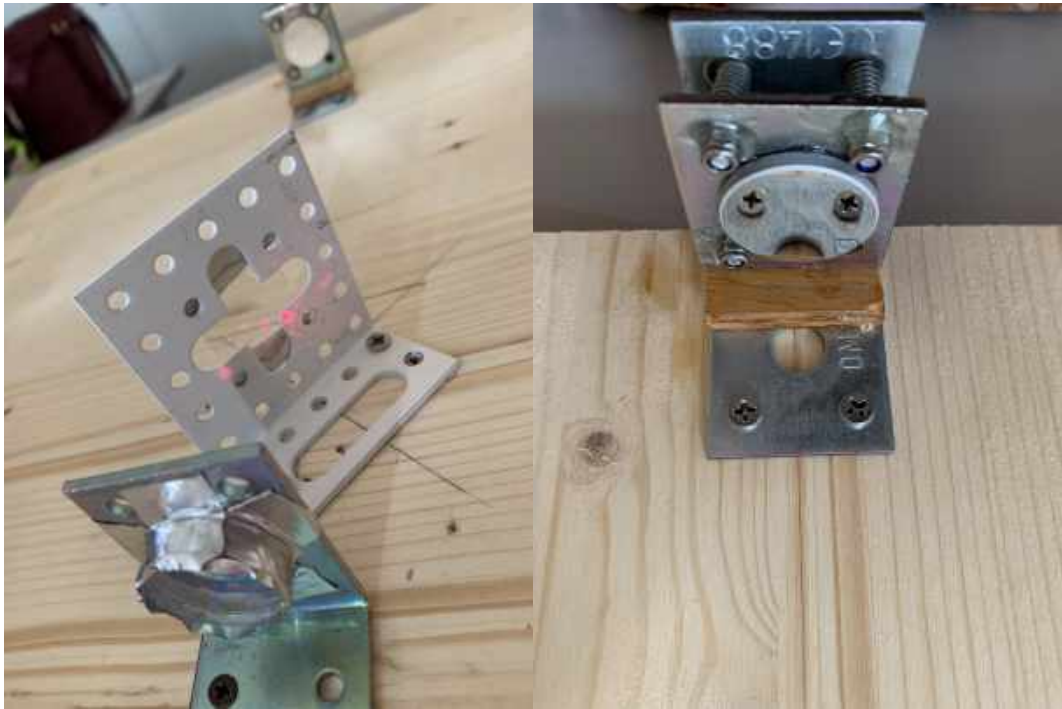
2.3.5 Passo 5

Una volta regolata la compressione di tutte le molle in modo da fissare la piastrina a metà della corsa, stringendo il dado con la pinza (o con un'opportuna chiave), non si dovrà più agire sulla vite che regola il movimento diagonale. Per far sì che i dadi non ruotino quando viene girata la vite con la chiave a brugola, occorre fissare con un punto di colla gel il dado alla basetta.

2.4 Il nostro interferometro

Ecco infine una foto dell'interferometro realizzato nel nostro laboratorio di fisica, insieme alle figure di interferenza che si sono formate:





3 Interferometro di Michelson e Morley

Gli esperimenti condotti sull'interferometro sono stati fondamentali per la comprensione della natura delle onde elettromagnetiche. Il più importante interferometro è quello di Michelson e Morley che lo hanno utilizzato per cercare di provare che la luce, un'onda elettromagnetica, avesse bisogno di un mezzo per propagarsi, ma hanno scoperto il contrario, ovvero che a differenza delle onde meccaniche la luce si può propagare anche nel vuoto.



L'interferometro permette di suddividere un fascio di luce in due fasci che viaggiano perpendicolarmente per poi convergere su uno schermo formando una figura di interferenza. Utilizzando questo dispositivo sperimentale Michelson effettuò un certo numero di misure non rilevando lo spostamento minimo previsto delle frange di interferenza, tuttavia il suo apparecchio non aveva la precisione sufficiente per escludere con certezza l'esistenza del movimento nell'etere. Per ottenere dati più precisi, nel 1887 si mise in contatto con Edward Morley, che offrì il suo seminterrato per un nuovo esperimento per il quale venne utilizzato un interferometro montato su una lastra di pietra quadrata di 1,5 m di lato e circa 30 cm di spessore. Per eliminare le vibrazioni la lastra veniva fatta galleggiare su mercurio liquido, accorgimento

che permetteva di mantenere la lastra orizzontale e di farla girare senza attrito e senza deformazioni. Un sistema di specchi inviava il raggio di luce per un percorso di otto viaggi di andata e ritorno allo scopo di rendere il viaggio del raggio di luce più lungo possibile. Anche in questo caso non si trovò traccia di un vento d'etere, pur ripetendo l'esperimento a distanza di tempo per tener conto del cambiamento della velocità della Terra rispetto all'etere dovuto alla sua rotazione. Con questi esperimenti, se si ipotizza che la Terra non sia ferma rispetto all'etere, fallisce la legge di composizione galileiana delle velocità nel caso della luce, poiché appunto la sua velocità non risulta influenzata da alcun mezzo fisico. Sono possibili tre spiegazioni del fallimento dell'esperienza di Michelson e Morley:

- la Terra è ferma rispetto all'etere;
- il braccio dell'interferometro si accorcia nella direzione del moto in misura tale da compensare esattamente l'effetto atteso del vento d'etere sulla velocità del raggio di luce emesso nella direzione del moto orbitale della terra (contrazione di Lorentz-FitzGerald);
- la velocità della luce è la medesima in tutte le direzioni.

La costanza della velocità della luce, e quindi la sua indipendenza dal moto della sorgente e dell'osservatore, fu uno dei due postulati da cui Einstein partì per sviluppare la teoria della relatività ristretta e va considerata come prova dell'isotropia dello spazio per tutti gli osservatori. Essa rende non più necessaria l'esistenza dell'etere e implica una riduzione della misura della dimensione del corpo nella direzione del suo moto dello stesso valore della contrazione ipotizzata da Lorentz e Fitzgerald.