

# Misura della velocità della luce

Liceo delle Scienze Applicate - ITIS G. Cardano di Pavia  
Progetto LAB2GO 2023

## INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo esperimento è di verificare la velocità della luce che attraversa mezzi come l'aria e il vetro utilizzando un emittente, una lente e un ricevitore. Nello specifico, le seguenti due immagini dimostrano i due esperimenti effettuati, quello per misurare la velocità della luce che attraversa l'aria e quello per misurare la velocità della luce che attraversa sia l'aria che un vetro acrilico di spessore 50 mm. Per poter controllare l'accuratezza dei dati ottenuti è stato calcolato anche il valore teorico del secondo esperimento utilizzando l'indice di rifrazione del mezzo basato allo spessore del mezzo stesso.

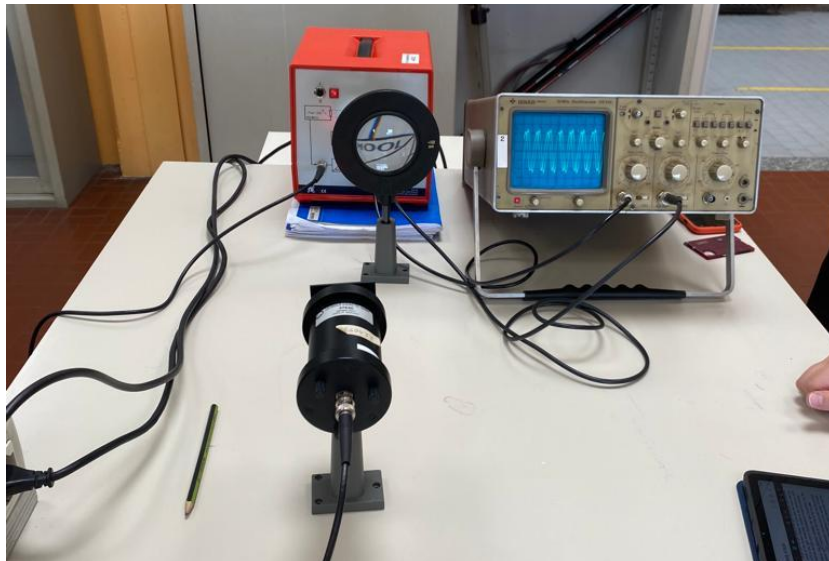


Foto presa in laboratorio.

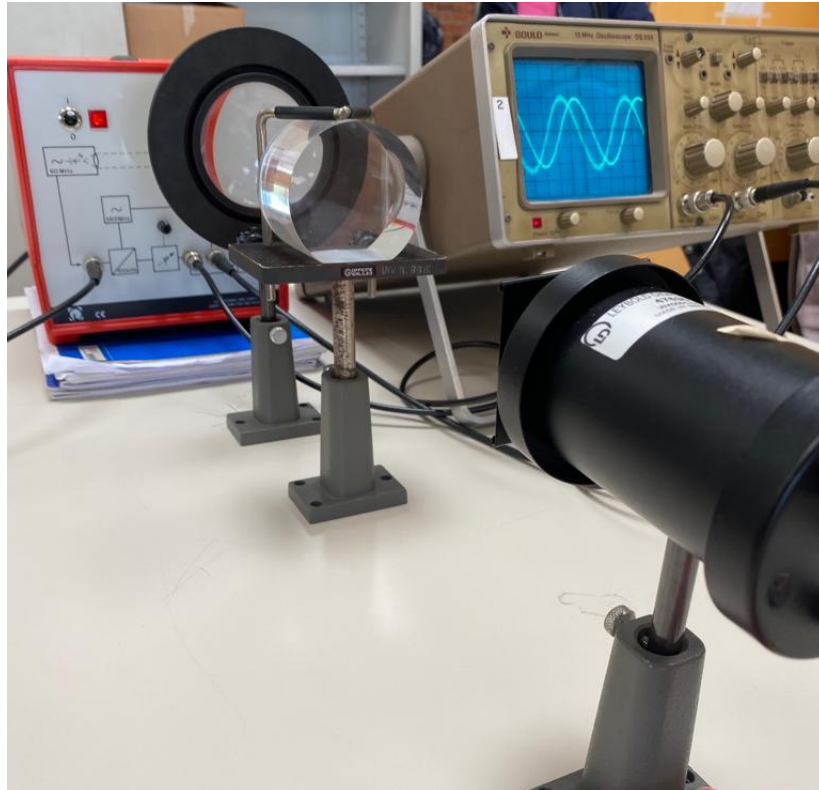


Foto presa in laboratorio.

## MATERIALI

Lista di materiali utilizzati:

- trasmettitore di luce
- un ricevitore di luce
- dei cavi annessi
- tubo a due finestre finali
- elastici annessi
- lente con supporto
- ganci con supporti
- cristallo

Questi materiali serviranno ad eseguire le due esperienze, con la differenza che nella prova con il vetro utilizzeremo anche il cristallo che nella prima prova non servirà.

## **PROCEDURA SPERIMENTALE**

Il trasmettitore (fotodiodo rosso modulato a 60 MHz) e il ricevitore (fotodiodo, amplificatore, mescolatore e parte collegata alla rete) sono sistemati in due custodie separate, le quali sono unite soltanto da un cavo coassiale lungo 6 m. Attraverso questo cavo, l'emittente viene alimentata con la corrente proveniente dalla sezione di rete del ricevitore. Questo segnale elettrico di 60MHz arriva al trasmettitore che lo converte in un segnale ottico tramite il fotodiodo incorporato. Successivamente, il segnale ottico viene inviato nuovamente alla scatola rossa, la quale diventa ricevitore, con un segnale di 59,9 MHz e viene trasformato in elettrico. Esso viene poi mescolato con un altro segnale elettrico di 60 MHz, generato internamente dalla scatola rossa, per ottenere un segnale a bassa frequenza di 100 kHz, in modo tale da diventare leggibile e supportato dall'oscilloscopio scolastico. Quest'ultimo può leggere segnali fino a 100 kHz, per questo i segnali sono stati ridotti a una frequenza minore. Infine, sul display dell'oscilloscopio vedremo l'onda del segnale ottico in trasmissione.

Per poter prendere le misure richieste, a questo punto, bisogna prendere come riferimento l'onda rappresentata sul display dell'oscilloscopio, corrispondente al segnale miscelato, poi aggiustare la sua fase, ponendola al valore di base, e spostare il trasmettitore di segnale ottico per centrare quest'ultimo nel foro del ricevitore così da poter sovrapporre le due onde.

### **ESPERIENZA 1: VELOCITÀ DELLA LUCE NELL'ARIA**

La procedura seguita secondo il manuale della Leybold è la seguente:

- Posizionare prima il trasmettitore di luce a una distanza di 1 m dall'apertura di ingresso del ricevitore e collegarlo alla presa per il trasmettitore di luce dell'alimentatore tramite il cavo da 6 m e accendere l'alimentatore. Visualizzare il punto luminoso rosso dell'emettitore di luce sul pannello frontale dell'alimentatore e spostare l'inserito con il LED dell'emettitore di luce rispetto al condensatore in modo che il punto luminoso rosso sia illuminato il più uniformemente possibile. Ridurre la distanza tra il trasmettitore di luce e il ricevitore a 50 cm e impostare la lente nel percorso del raggio. Allineare l'emettitore di luce e la lente in modo tale che il punto luminoso rosso colpisca l'apertura di ingresso del ricevitore. Se necessario, ottimizzare l'allineamento del trasmettitore di luce con l'ausilio delle viti di regolazione.

- Collegare l'uscita del segnale del ricevitore al canale II dell'oscilloscopio (base dei tempi:  $2 \mu\text{s}/\text{DIV}$ , accoppiamento: AC).
- Osservare il segnale del ricevitore sull'oscilloscopio e ottimizzare ancora una volta l'allineamento del trasmettitore di luce e dell'obiettivo. Se il segnale del ricevitore è distorto: si deve sfocare leggermente il fascio di luce spostando l'obiettivo.
- In seguito è necessario contrassegnare la posizione dell'emettitore di luce come posizione 1 sul tavolo.
- Poi bisogna spostare il trasmettitore di luce lungo l'asse ottico di  $\Delta s = 100 \text{ cm}$ , controllare l'allineamento del trasmettitore di luce e contrassegnare la seconda posizione. Si deve collegare l'uscita del segnale di riferimento al canale I dell'oscilloscopio e osservare contemporaneamente il segnale di riferimento e il segnale del ricevitore. In seguito si devono regolare le posizioni lungo l'asse verticale dei due segnali dei canali I e II tale che i due segnali siano il più possibile simmetrici rispetto alla linea orizzontale centrale dello schermo. Far coincidere i due segnali nel modo più preciso possibile con l'ausilio del regolatore di fase che si trova sullo strumento della Leybold e scegliere una posizione orizzontale adatta dei segnali in modo che l'asse verticale intersechi il picco dell'onda. Bisogna spostare l'asse X dei due segnali in modo in cui è più facile misurare il T1. Quindi sposti un picco allo 0 dell'asse X e conti quante tacche ci sono fra quel picco e il prossimo, ed infine calcolare il periodo dividendo  $2 \mu\text{s}/\text{DIV}$  per la distanza tra il picco e l'origine. Ogni tacca equivale ad un DIV. Per determinare lo sfasamento temporale bisognerà riportare il trasmettitore di luce in posizione 1 e ricollegare l'uscita del segnale del ricevitore al canale II dell'oscilloscopio (base dei tempi:  $0,5 \mu\text{s}/\text{DIV}$ , accoppiamento: AC).
- Dopo aver osservato i due segnali sull'oscilloscopio si dovrà spostare lo 0 del segnale di riferimento esattamente sulla linea centrale verticale in modo che essa interseca il picco dell'onda del segnale di riferimento, in seguito sarà necessario calcolare le tacche tra il picco di un segnale e il picco di quello successivo, in seguito si deve moltiplicare il numero di tacche per  $0,5 \mu\text{s}$  per ottenere una grandezza di tempo. Il motivo per cui è 0,5 è perché la scala la sceglie chi sta eseguendo l'esperimento nelle impostazioni dell'oscilloscopio. Inoltre bisogna sapere che una tacca equivale a  $0,2 \text{ mm}$  e che ogni quadratino, formato da 5 tacche, equivale a  $2 \text{ mm}$ . In questo modo si potrà calcolare  $\Delta t$ . Si dovrà spostare avanti e indietro più volte il trasmettitore e determinare il valore medio di  $\Delta t$ .

Il tempo finito di propagazione della luce lungo un certo percorso si manifesta nello sfasamento di un segnale luminoso periodico. Dallo sfasamento e dalla lunghezza del percorso è possibile determinare la velocità della luce se il periodo o la frequenza, rispettivamente, del segnale luminoso è noto.



Foto delle onde visibili sull'oscilloscopio della prima esperienza prese in laboratorio

## ESPERIENZA 2: VELOCITÀ DELLA LUCE NEL VETRO

Per questa tipologia di esperimento per misurare la velocità della luce dobbiamo eseguire tutti i passaggi precedentemente spiegati nel caso della velocità della luce nell'aria, utilizzando il blocco di vetro acrilico e inserendolo nella traiettoria del segnale ottico prodotto dal trasmettitore.

Inoltre, montiamo il tavolo del prisma su una base a sella e bloccare il blocco di vetro acrilico sul tavolo del prisma con il supporto in metallo.

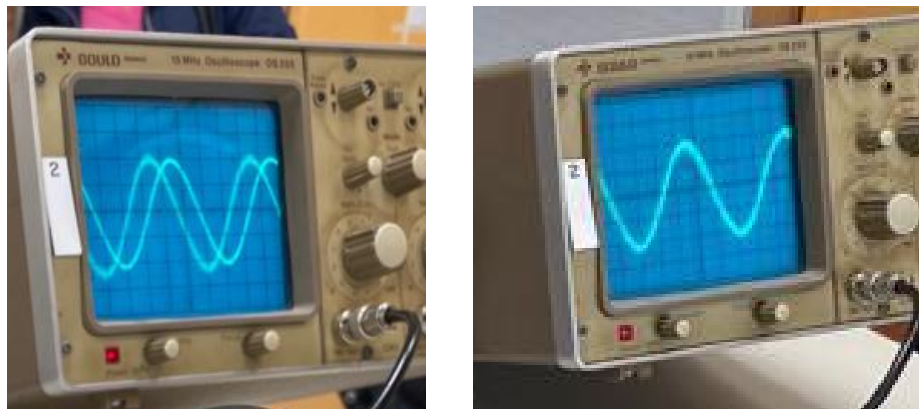


Foto delle onde visibili sull'oscilloscopio della prima esperienza prese in laboratorio

## RISULTATI ESPERIENZE

### 1. Velocità della luce nell'aria

$$\text{Formula: } c = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} \cdot T_1 \cdot \nu$$

Dati: (ricavati dall'esperienza)

$$\Delta S = 1 \text{ m}$$

$$\nu = 60 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{e quindi: } T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{60 \cdot 10^6}$$

· 1 divisione sull'oscilloscopio: 1 tacca = 1 cm:

$$T_1 = 5,2 \text{ cm} \cdot 0,5 \mu\text{s/cm} = 2,6 \mu\text{s}$$

$$\Delta t_1 = 1,1 \text{ cm} \cdot 0,5 \mu\text{s/cm} = 0,5 \mu\text{s}$$

Formule e calcoli:

$$c = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} \cdot T_1 \cdot \nu$$

$$c = \frac{1}{0,55} \cdot 2,6 \cdot 60 \cdot 10^6 = 2,84 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Possibili errori dell'esperienza:

· abbiamo presunto di avere mezza tacca di errore su  $\Delta t_1$  e  $T_1$ , 1 cm su  $\Delta S$  e 0,5 MHz su  $\nu$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta S} + \frac{\Delta(\Delta t_1)}{\Delta t_1} + \frac{\Delta T_1}{T_1} + \frac{\Delta \nu}{\nu}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{0,01 \text{ m}}{1 \text{ m}} + \frac{0,05 \mu\text{s}}{0,55 \mu\text{s}} + \frac{0,05}{2,6} + \frac{1}{60} = 0,137$$

$$\Delta c = 0,137 \cdot 2,84 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 0,389 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$\Delta c / c$  = errore relativo ---> si può ricavare l'errore assoluto ( $\Delta c$ ) sapendo  $c$

Conclusione:

PeFnoi  $c = x \pm y \text{ m/s}$  ---> dove  $y = \Delta c$  e  $x = c$

Quindi la velocità della luce nell'aria è:

$$c = (2,84 \pm 0,39) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

## 2. Velocità della luce nel vetro

$$\text{Formula: } c = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} \cdot T_1 \cdot \nu$$

Dati: (ricavati dall'esperienza)

$$\Delta S = 1 \text{ m}$$

$$\nu = 60 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{e quindi: } T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{60 \cdot 10^6}$$

· 1 divisione sull'oscilloscopio = 1 tacca = 1 cm:

$$T_1 = 5,2 \text{ cm} \cdot 0,5 \mu\text{s/cm} = 2,6 \mu\text{s}$$

$$\Delta t_1 = 1,2 \text{ cm} \cdot 0,5 \mu\text{s/cm} = 0,6 \mu\text{s}$$

Formule e calcoli:

$$c = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} \cdot T_1 \cdot \nu$$

$$c = \frac{1}{0,6} \cdot 2,6 \cdot 60 \cdot 10^6 = 2,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Possibili errori dell'esperienza:

Abbiamo presunto di avere mezza tacca di errore su  $\Delta t_1$  e  $T_1$ , 1 cm su  $\Delta S$  e 0,5 MHz su  $\nu$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta S} + \frac{\Delta(\Delta t_1)}{\Delta t_1} + \frac{\Delta T_1}{T_1} + \frac{\Delta \nu}{\nu}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{0,01 \text{ m}}{1 \text{ m}} + \frac{0,05 \mu\text{s}}{0,6 \mu\text{s}} + \frac{0,05}{2,6} + \frac{1}{60} = 0,129$$

$$\Delta c = 0,129 \cdot 2,6 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 0,335 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$\Delta c / c$  = errore relativo ---> si può ricavare l'errore assoluto ( $\Delta c$ ) sapendo  $c$

conclusione:

Per noi  $c = x \pm y \text{ m/s}$  ---> dove  $y = \Delta c$  e  $x = c$

Quindi la velocità della luce che attraversa il vetro è:

$$c = (2,6 \pm 0,33) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

### Calcolo del valore della velocità della luce nel vetro con indice di rifrazione:

·  $d$  = spessore vetro  $\rightarrow d = 5 \pm 0,5$  mm

·  $n$  = indice di rifrazione vetro

·  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  m/s  $\rightarrow$  velocità della luce nel vuoto

$$n = 1 + \frac{c_0}{d} \cdot \Delta t_1$$

$$n = 1 + \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,05 \text{ m}} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{0,05 \text{ m}} = 1 + 36 \cdot 10^2 = 37 \cdot 10^2$$

$$n = 1 + \frac{c_0}{dv} \cdot \frac{\Delta t_1}{T_1}$$

$$n = 1 + \frac{3 \cdot 10^8}{0,05 \cdot 60} \cdot \frac{0,6}{2,6} = 1,231$$

$$c_n = \frac{c_0}{n}$$

$$c_n = \frac{3 \cdot 10^8}{0,231} = 2,437 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

possibili errori:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta c_0}{c_0} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta(\Delta t_1)}{\Delta t_1} + \frac{\Delta T_1}{T_1}$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{0,01}{30} + \frac{0,005}{0,05} + \frac{1}{60} + \frac{0,05}{0,6} + \frac{0,05}{2,6} = 0,220$$

$$\Delta n = 0,220 \cdot 1,231 = 0,271$$

quindi:

$$n = 1,231 \pm 0,271 \text{ e}$$

$$c_n = (2,437 \pm 0,271) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



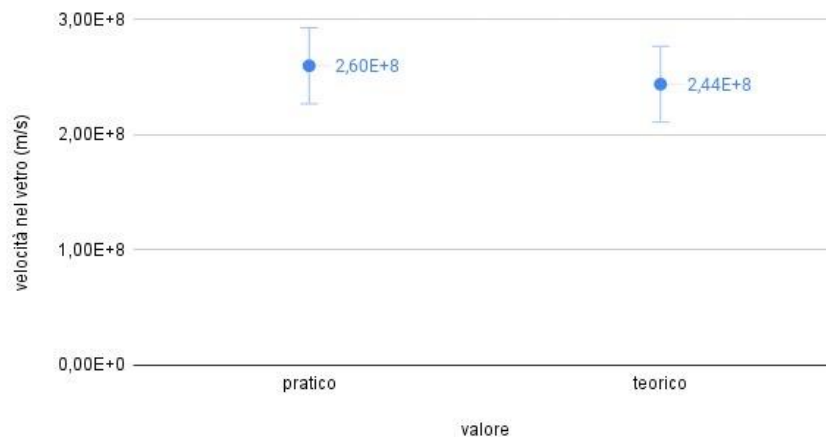
## Grafici e tabelle

Nella tabella vengono riportate il valore pratico, quindi ottenuto sperimentalmente, e teorico della velocità della luce nel mezzo in cui si sta propagando e il suo errore che noi soprannominiamo incertezza

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4	Mezzo	velocità della luce calcolata	incertezza	velocità della luce teorica	incertezza
5	aria	$2.84 \cdot 10^8$ m/s	$0.39 \cdot 10^8$ m/s		
6	vetro	$2.6 \cdot 10^8$ m/s	$0.33 \cdot 10^8$ m/s	$2.44 \cdot 10^8$ m/s	$0.27 \cdot 10^8$ m/s
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Nella tabella possiamo notare che, come ci aspettavamo, il valore pratico della velocità della luce nell'aria è minore rispetto alla velocità della luce nel vuoto ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

Grafico della velocità della luce nel vetro



Le linee blu verticali rappresentano l'incertezza del valore a cui sono associate e quello che si può notare è che il valore sperimentale e il valore teorico coincidono entro gli errori.

## CONCLUSIONI

### VELOCITÀ DELLA LUCE NELL'ARIA

Secondo i valori ottenuti con i calcoli, dopo aver svolto l'esperienza, possiamo affermare che la velocità della luce nell'aria è stata verificata.

Infatti, il risultato ottenuto, quindi  $c = (2,84 \pm 0,39) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , come si aspetta è leggermente inferiore al valore della velocità della luce nel vuoto, cioè  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

### VELOCITÀ DELLA LUCE NEL VETRO

Secondo i valori ottenuti con i calcoli, dopo aver svolto l'esperienza, possiamo affermare che la velocità della luce nel vetro non è stata del tutto verificata.

Infatti, il risultato ottenuto, quindi  $c_{\text{vetro}} = (2,6 \pm 0,33) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , è quasi concorde al valore teorico originale, cioè  $c_{\text{vetro}} = (2,437 \pm 0,271) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

## Sitografia

- <https://www.leybold-shop.com/physics/physics-equipment/optics/velocity-of-light/withelectronic-modulation-method/light-transmitter-and-receiver-476301.html>
- <https://www.leybold-shop.com/physics/physics-equipment/optics/velocity-of-light/withelectronic-modulation-method/tube-with-2-end-windows-47635.html>
- [https://people.unipmn.it/panzieri/guide\\_lab/mis\\_vel\\_luce.pdf](https://people.unipmn.it/panzieri/guide_lab/mis_vel_luce.pdf)
- <https://www.youmath.it/domande-a-risposte/view/3255-velocita-luce.html>
- <https://www.unidformazione.com/velocita-della-luce-qual-e-come-calcolarla/>
- [https://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/DocuSefmi2014/Materiale%20Utilizzato/Laboratorio/Dispense/\\_\\_\\_SNFMI%20-%20Misura%20della%20velocit%c3%a0%20della%20luce.pdf](https://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/DocuSefmi2014/Materiale%20Utilizzato/Laboratorio/Dispense/___SNFMI%20-%20Misura%20della%20velocit%c3%a0%20della%20luce.pdf)
- <https://www.focus.it/scienza/scienze/velocita-della-luce-superare>