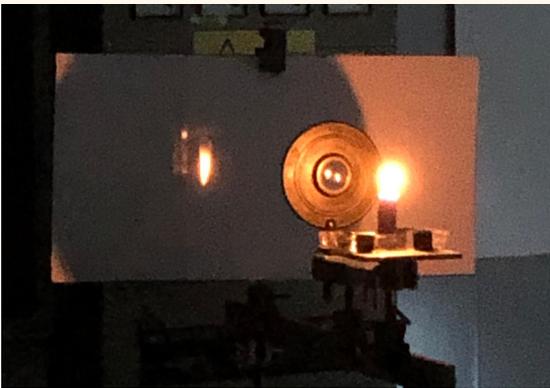


03/03/2022 - 24/03/2022
Laboratorio fisica 1

VERIFICA SPERIMENTALE DELLA LEGGE DEI PUNTI CONIUGATI E STIMA DEL DIAMETRO SOLARE MEDIANTE UN ELIOSCOPIO

—
Marco Grieco e Nicolò Tissi

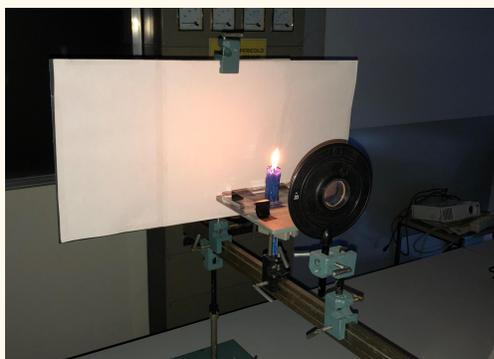


INTRODUZIONE

Questa esperienza di laboratorio si è suddivisa in due parti: la prima dove mediante un banco ottico abbiamo verificato la legge dei punti coniugati e la seconda dove abbiamo stimato la misura del diametro solare grazie a una rudimentale camera oscura.

MATERIALI

Prima esperienza



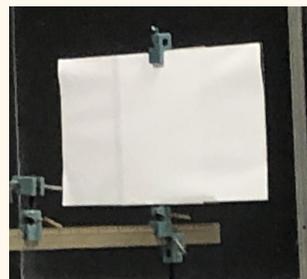
- Banco ottico formato da:



Set di lenti



candela



schermo sul quale appariva l'immagine

- Righello e flessometro

Seconda esperienza

- Camera oscura (realizzata mediante una scatola, delle forbici, del nastro adesivo e un foglio di carta oleata);
- Righello e flessometro.



PREMESSA TEORICA

L'ottica è quella parte della fisica che si occupa di descrivere le leggi fisiche che riguardano la luce.

Molti fenomeni ottici si possono ridurre allo studio puramente geometrico, in quanto la luce ha una proprietà molto facile da determinare: la luce si propaga in linea retta.

La luce è costituita da raggi luminosi che si propagano in linea retta: la formazione delle ombre e penombre ci portano a confermare la propagazione rettilinea della luce.

La trasparenza e l'opacità dei corpi colpiti dai raggi luminosi generano ombre o penombre che si possono ricavare attraverso la semplice proiezione geometrica dei raggi stessi; la stessa cosa per i fenomeni di riflessione e rifrazione dei raggi luminosi: la direzione dei raggi cambia secondo precise leggi geometriche.

La riflessione è il cambiamento della direzione dei raggi che può avvenire in più modi:

- Riflessione speculare: cambiamento della direzione dei raggi tutti nella stessa direzione. È il caso dello specchio, la sua superficie liscia permette ai raggi di riflettersi in modo uniforme
- Riflessione diffusa: cambiamento della direzione dei raggi in direzioni diverse. È il caso di un corpo lucido ma non liscio: la sua superficie “diffonde” la luce in tutte le direzioni.

La riflessione segue delle leggi geometriche precise e sono due:

1. L'angolo di incidenza del raggio sulla superficie è uguale all'angolo di riflessione. Il punto di incontro del raggio incidente e del raggio riflesso si chiama punto di incidenza
2. Il raggio di incidenza e il raggio riflesso sono complanari ovvero giacciono sullo stesso piano

Se la luce subisce un cambiamento della direzione nel momento in cui attraversa un altro corpo si chiama rifrazione, essa è dovuta ad una diversa velocità della luce nel corpo.

Per esempio, nel vuoto la velocità della luce è di circa 300.000 km/s ovvero $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. In acqua la velocità della luce si riduce, ed è di 225000 km/s ovvero $c = 2.25 \cdot 10^8$ m/s.

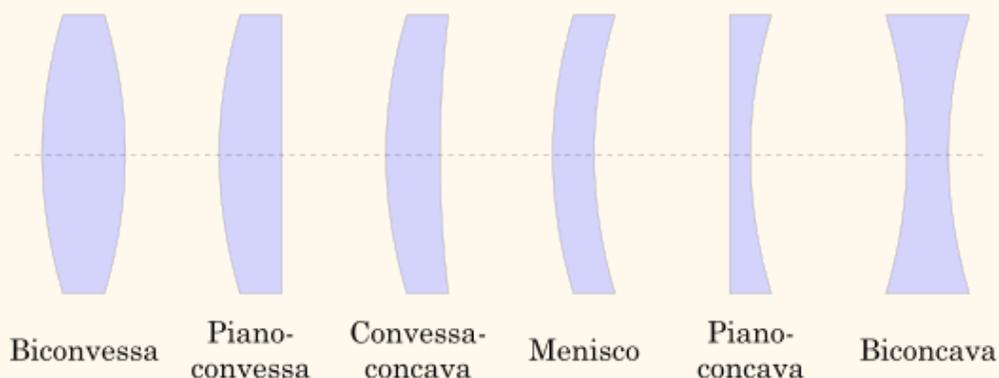
La rifrazione segue anch'essa delle regole geometriche precise, che sono le seguenti:

1. *Legge di Snell – Cartesio*: se un raggio luminoso incide una superficie di separazione del mezzo 1 con indice di rifrazione n_1 e il mezzo 2 con indice di rifrazione n_2 , il rapporto degli indici di rifrazione è il seguente:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } \theta_r}{\text{sen } \theta_i}$$

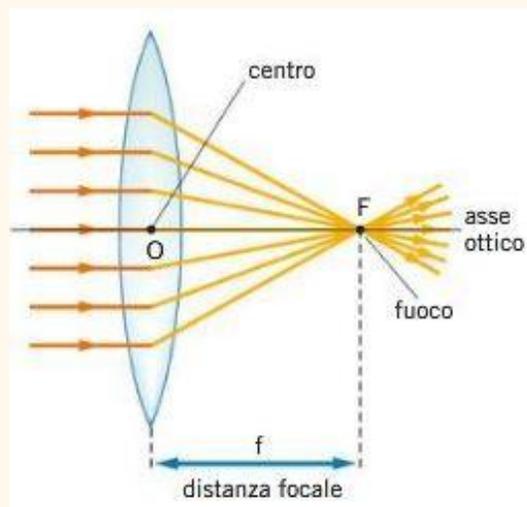
2. Il raggio di incidenza e il raggio rifratto sono complanari ovvero giacciono sullo stesso piano.

Per lo svolgimento della prima parte della nostra relazione sarà molto importante conoscere al meglio lo studio delle lenti.

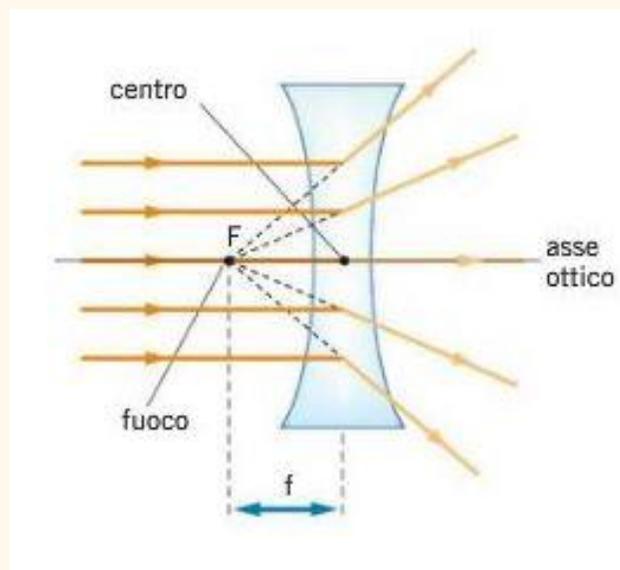


Le lenti sferiche sono dei mezzi trasparenti delimitati da due superfici sferiche che producono immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti. Nonostante vi siano varie suddivisioni, le due principali macrocategorie che andremo ad analizzare sono le seguenti:

- *Lenti convergenti*: sono sottili ai bordi e più spesse al centro. Hanno questo nome poiché fanno convergere tutti i raggi paralleli all'asse ottico in un unico punto, detto *fuoco*.



- *Lenti divergenti*: sono più spesse ai bordi e sottili al centro, esse fanno divergere i raggi paralleli all'asse ottico come se uscissero da un unico punto (il fuoco).



La principale legge che descrive il funzionamento delle lenti è la cosiddetta *legge dei punti coniugati*:

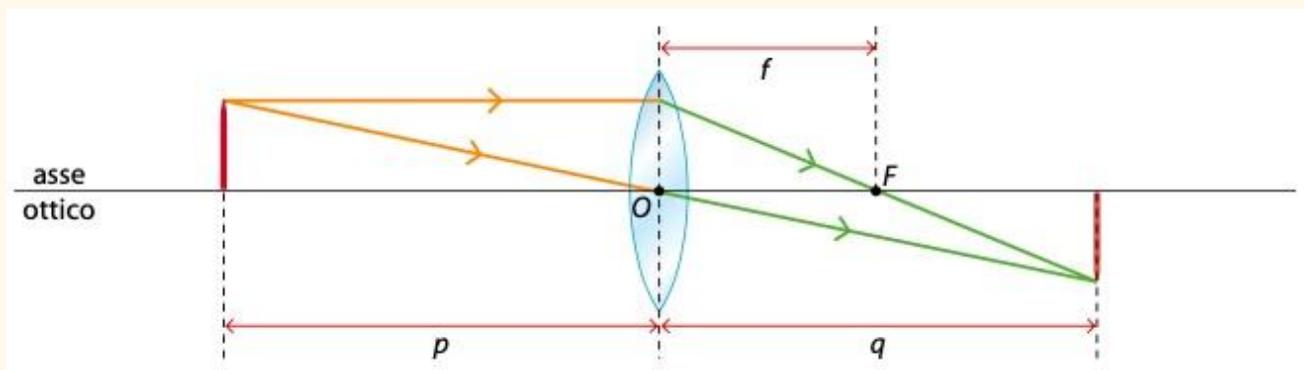
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Dove:

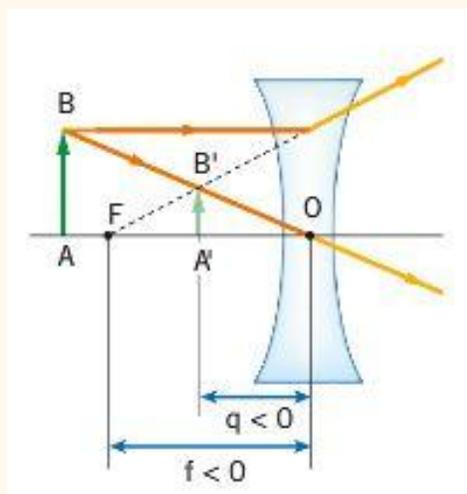
- p è la distanza oggetto-lente
- q è la distanza immagine-lente
- f è la distanza focale.

Si noti che $\frac{1}{f}$ è detto potere diottrico della lente (PD) ed è misurata in m^{-1} o *diottrie*.

Nell'immagine sottostante viene rappresentato il metodo geometrico per rappresentare l'immagine che passa attraverso una lente convergente.



Differente è il metodo con le lenti divergenti, dove i valori di f e q sono sempre negativi.



Per determinare l'ingrandimento dell'immagine basta effettuare il rapporto tra l'altezza dell'immagine (h') e l'altezza dell'oggetto (h).

$$G = \frac{h'}{h}$$

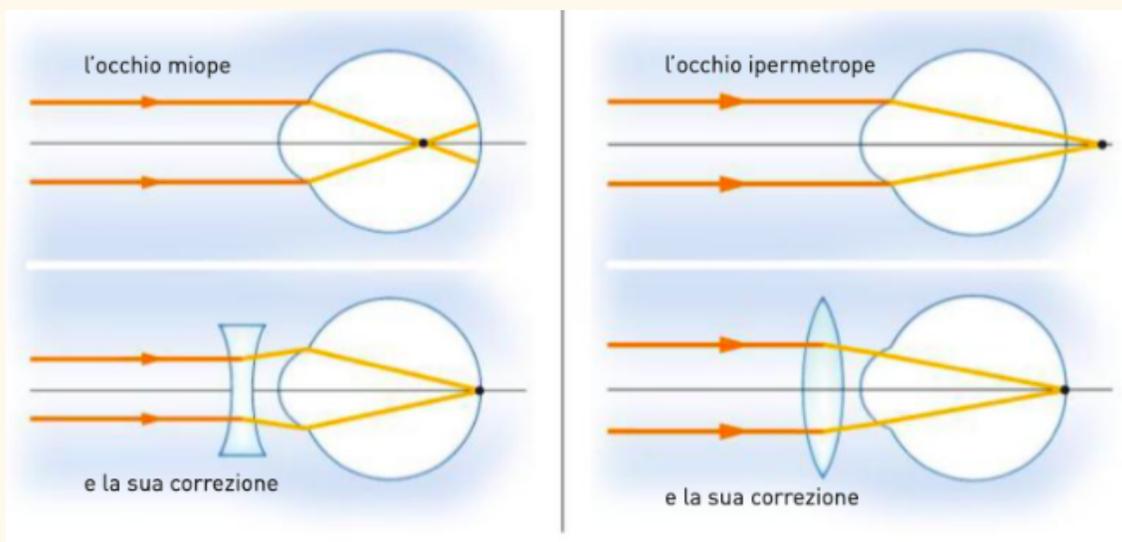
Inoltre, sempre per ricavare l'ingrandimento, si può anche utilizzare anche la seguente formula:

$$G = - \frac{q}{p}$$

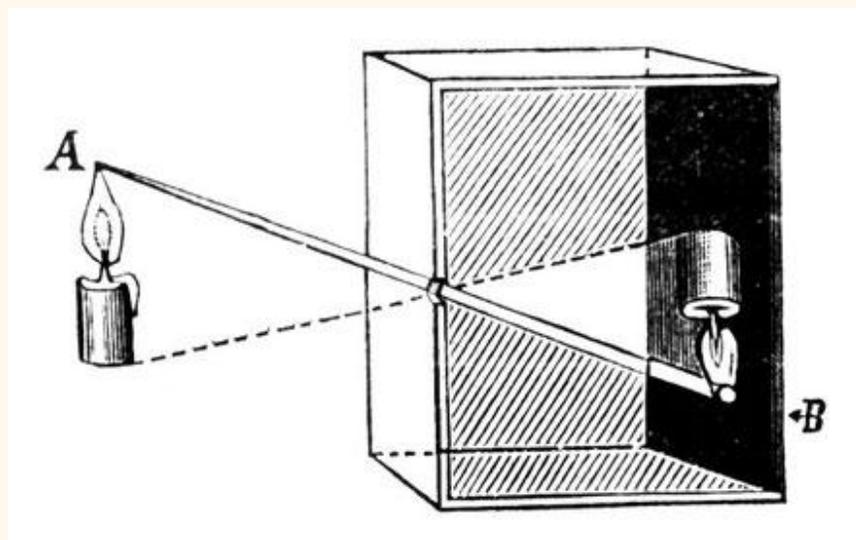
Grazie ai valori di q , f , e G si possono capire delle importanti caratteristiche che possiedono l'immagine e la lente, riassunte in questa tabella:

	Positivo	Negativo
Valore di f	Lente convergente	Lente divergente
Valore di q	Immagine reale	Immagine virtuale
Valore di G	Immagine diritta	Immagine capovolta

Vi sono diverse applicazioni delle lenti nella vita quotidiana, un chiaro esempio è quello dei difetti visivi e delle relative correzioni. Un occhio miope è troppo convergente, produce un'immagine davanti alla retina e per correggere il difetto si usa una lente divergente (oppure una convesso-concava). Invece un occhio ipermetrope è poco convergente e produce un'immagine dietro alla retina e per correggere il difetto viene usata una lente convergente.



Un altro concetto importante per la nostra relazione è quello della camera oscura, la quale è una scatola completamente sigillata se non per una piccola apertura (detta *foro stenopeico*) posta in direzione dell'immagine. La camera oscura si basa sul principio che i raggi luminosi di un oggetto molto luminoso, passando attraverso l'apertura, si incrociano e vanno a formare un'immagine capovolta su uno schermo piatto.



Le proprietà della camera oscura sono descritte dalla seguente proporzione:

$$h_o : d = h_i : L$$

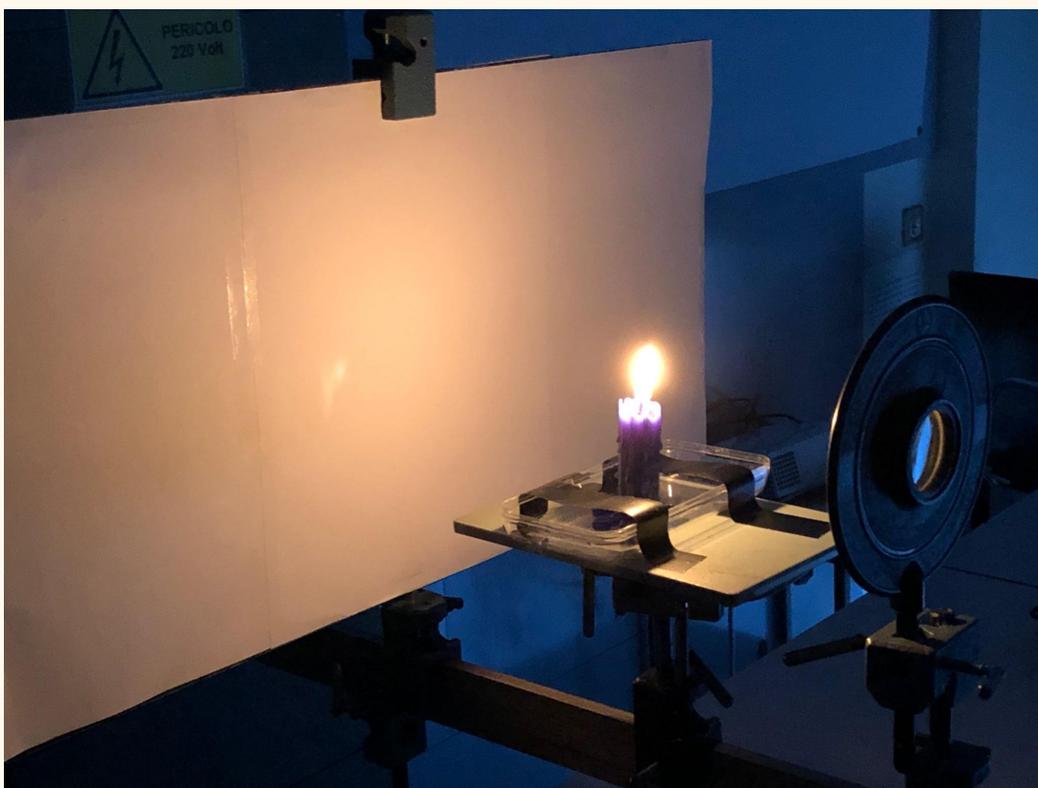
Dove h_o è l'altezza dell'oggetto, d è la distanza oggetto-camera oscura, h_i è l'altezza dell'immagine e L è la lunghezza della camera oscura.

Degli esempi concreti di camera oscura sono le macchine fotografiche (soprattutto quelle primordiali), la lanterna magica (un'antenata del moderno proiettore) e, più importante, il nostro occhio. Come facciamo a vedere dritto se in una camera oscura l'immagine viene ribaltata? Semplice, poiché questo lavoro è svolto dal cervello che capovolge l'immagine e ci permette di vedere il mondo intorno a noi in maniera giusta.

Per le definizioni di specchi, angolo limite e riflessione totale fare riferimento alla scorsa relazione.

ESECUZIONE

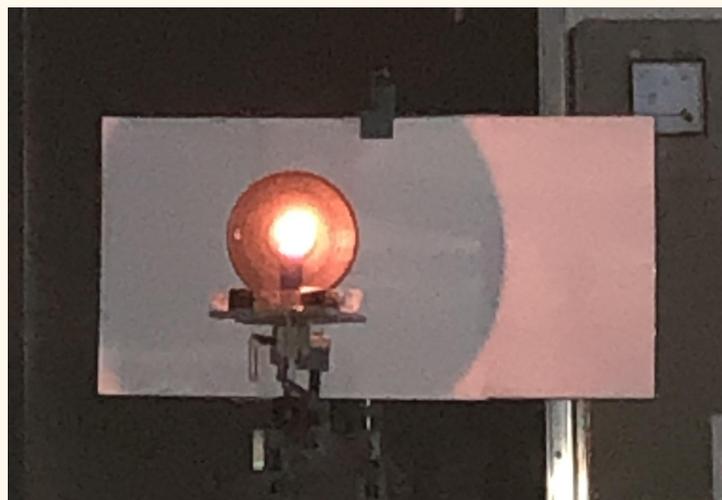
Primo esperimento - verifica della legge dei punti coniugati



Nella prima esperienza di laboratorio abbiamo ricavato le misure di p (distanza candela-lente), q (distanza lente-immagine) e H' (altezza dell'immagine sullo schermo) di differenti lenti grazie ad un banco ottico. A gruppi di tre persone, abbiamo quindi eseguito 7 prove e ricavato, per ciascuna di esse, grazie ad un flessometro, questi dati, relativi a diverse lenti con diverse distanze focali (che sapevamo poiché segnate sulla lente), stando ovviamente attenti a mettere a fuoco l'immagine avvicinando o allontanando la candela dalla lente. I dati ricavati in laboratorio sono riportati qui sotto.

N.B. L'altezza della fiamma H_0 è stabilita a 2,8 cm.

Prova	p [cm]	q [cm]	f [teorico]	H_1 [cm]
1	13	32,5	+10	-8
2	15,5	24,5	+10	-5
3	9	11	+5	-4,5
4	14	7,5	+5	-2,5
5	27,5	31,5	+15	-4
6	17	-33,4	-20	-3
7	6,5	-15	-10	-4,5



Per verificare la legge dei punti coniugati non ci resta quindi che calcolare $f_{(\text{sperimentale})}$ e confrontarlo con $f_{(\text{teorico})}$.

Per calcolare f verrà utilizzata questa formula, ricavata dalla legge dei punti coniugati:

$$f = \frac{P \cdot Q}{Q+P}$$

nel primo caso sarà: $f = \frac{13 \cdot 32,5}{32,5+13} = \frac{422,5}{45,5} = 9,29$

Rifacciamo questo procedimento per altre 6 volte con gli altri dati.

Calcoliamo inoltre l'ingrandimento, e anche qui confrontiamo l'ingrandimento calcolato con i valori di q e p con l'ingrandimento calcolato mediante il rapporto tra h_i e h_o :

$$G = -\frac{q}{p} \quad e \quad G = \frac{h_i}{h_o}$$

nel primo caso sarà $G = -\frac{32,5}{13} = -2,5$ e nel secondo sarà $G = \frac{-8}{2,8} = -2,86$

Come prima, questo procedimento è stato fatto per altre 6 volte e tutti i dati ottenuti sono riportati nella tabella sottostante.

Prova	p [cm]	q [cm]	$f_{(teorico)}$ [cm]	$f_{(sperimentale)}$ [cm]	H_i [cm]	$G = -\frac{q}{p}$	$G = \frac{H_i}{H^o}$
1	13	32,5	+10	9,29	-8	-2,5	-2,86
2	15,5	24,5	+10	9,49	-5	-1,58	-1,79
3	9	11	+5	4,95	-4,5	-1,22	-1,61
4	14	7,5	+5	4,88	-2,5	-0,54	-0,89
5	27,5	31,5	+15	14,68	-4	-1,15	-1,43
6	17	-33,4	-20	-34,62	-3	1,96	-1,07
7	6,5	-15	-10	-11,47	-4,5	2,31	-1,61

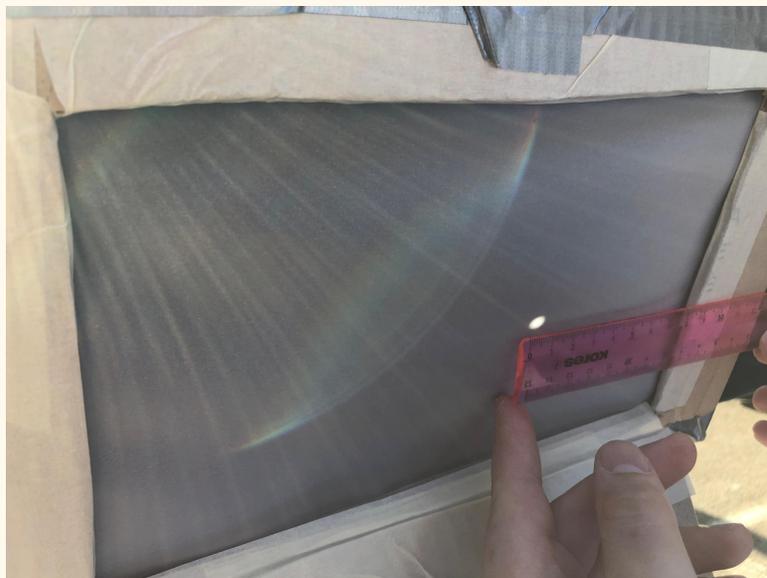
Secondo esperimento - misura del diametro solare mediante la camera oscura



Nella seconda esperienza di laboratorio abbiamo costruito una camera oscura, utilizzando una scatola, delle forbici, del nastro adesivo e della carta oleata.

Il foro è stato realizzato usando una matita per cui la forma era imprecisa e di circa 5 mm

Dopo aver terminato la costruzione della camera oscura siamo usciti all'aperto e l'abbiamo puntata verso il sole, così da vedere un piccolo pallino che si formava sul foglio: il sole.



Abbiamo quindi misurato con il righello la lunghezza del diametro di questo circonferenza luminosa ($7 \text{ mm} = 0,007 \text{ m}$) e, sapendo che la lunghezza L della nostra scatola era di $0,49 \text{ m}$ e che la distanza sole-terra (d) è pari a $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$, quindi ci è bastato calcolare il diametro solare con la seguente formula:

$$h_o = \frac{h_i \cdot d}{L} = \frac{0,007 \times 1,5 \cdot 10^{11}}{0,49} = 2,14 \cdot 10^9 \text{ m}$$

Il valore da noi ottenuto è quindi di $2,14 \cdot 10^9 \text{ m}$, mentre il reale diametro solare è di $1,39 \cdot 10^9 \text{ m}$.

Il valore del diametro del Sole così ricavato è diverso da quello reale, questo perché il foro sulla scatola è quasi della stessa grandezza del disco luminoso. Sarebbe opportuno ripetere la prova con un foro più piccolo di circa 1 mm di diametro e con una scatola molto più lunga, per esempio di 80 cm , per avere un risultato più veritiero.

Conclusione

Nella prima esperienza di laboratorio abbiamo imparato come la luce si comporta in presenza di una lente (convergente o divergente) e grazie al banco ottico e alla legge dei punti coniugati abbiamo potuto calcolare il valore di $f_{\text{(teorico)}}$ e confrontarlo con $f_{\text{(sperimentale)}}$.

Qui sotto sono riportati gli scarti percentuali tra il valore teorico e sperimentale

	Scarto %
Prova 1	$\frac{0,71}{10} \cdot 100 = 7,1 \%$
Prova 2	$\frac{0,51}{10} \cdot 100 = 5,1 \%$
Prova 3	$\frac{0,05}{5} \cdot 100 = 1 \%$
Prova 4	$\frac{0,12}{5} \cdot 100 = 2,4 \%$
Prova 5	$\frac{0,32}{15} \cdot 100 = 2,1 \%$

Prova 6	$\frac{14,62}{34,62} \cdot 100 = 42,2 \%$
Prova 7	$\frac{1,47}{11,47} \cdot 100 = 12,8 \%$

Possiamo quindi notare come in tutte le prove l'errore sia stato assolutamente trascurabile, se non per la numero 6 dove vi è un grande errore percentuale, probabilmente dovuto a degli errori di misurazione da parte degli sperimentatori.

Nella seconda esperienza di laboratorio abbiamo provato a misurare il diametro del sole avendo una camera oscura. Il risultato che abbiamo quindi ottenuto differiva di circa 750.000 km da quello reale: calcolando lo scarto percentuale ($\frac{2,14-1,39}{2,14} \cdot 100$), otteniamo uno scarto pari al 35%. Ovviamente, si è trattata solo di una stima, in quanto la camera oscura è stata creata da noi e dunque non trattavano di strumenti professionali.