1 Ottica geometrica

Questa esperienza ha lo scopo di mostrare alcuni aspetti fenomenologici dell'ottica geometrica:

- lenti convergenti e divergenti;
- sistemi di lenti;
- stima rapida della distanza focale di lenti sia convergenti che divergenti;
- punti coniugati;
- formazione di immagini;
- rapporto di ingrandimento;
- funzionamento tipo macchina fotografica: foto normali, macro, teleobiettivo e profondità di campo;
- funzionamento da proiettore.
- lente d'ingrandimento.

1.1 Materiale

I gruppi di laboratorio hanno a disposizione un banco ottico formato da una guida graduata sulla quale scorrono dei portastrumenti. Gli strumenti di interesse per l'esperienza sono:

- sorgente luminosa;
- schermo nero con forellino per simulare una sorgente puntiforme;
- schermo bianco per osservare le immagini reali (nel modello "macchina fotografica" sarà chiamato "pellicola");
- lente convergente;
- lente divergente;
- "diapositiva" su vetro con immagine di quadrettato e frecce (questa sarà il nostro oggetto da fotografare).

- diaframma;

Le misure andranno effettuate con il **metro a nastro** invece che con la scala graduata incisa sulla guida.

Si raccomanda di fare attenzione all'allineamento degli elementi e al loro posizionamento con i piani di lenti e schermi trasversali rispetto all'asse ottico. Per il carattere semiqualitativo dell'esperienza e le condizioni di lavoro le misure di distanza al mm vanno più che bene.

1.2 Misure rapide di distanza focale (senza il banco ottico)

Per questa misura si utilizza una sorgente posta "distante" (idealmente all'infinito).

- lente convergente: misurare la distanza fra i centro della lente e l'immagine della lampada ottenuta sulla mano (sic!): $\rightarrow f_1^\circ$;

- sistema lente convergente + lente divergente: mettere le lenti accostate per formare una sola lente e misurare la distanza focale come al punto precedente: $\rightarrow f_{1+2}^\circ$;

- lente divergente: uno studente regge con una mano la lente e l'altro si colloca ad un paio di metri dal primo, nella direzione opposta alla lampada. Vedrà l'immagine virtuale della lampada dall'altra parte della lente (fra sorgente e lente). Indicherà al compagno di mettere l'altra mano (o il dito) in prossimità di dove si forma l'immagine virtuale. Il compagno resterà immobile per conservare inalterata la distanza lente-immagine stimata e lo studente che ha osservato l'immagine misurerà la distanza fra centro-lente e mano: $\rightarrow f_2^\circ$ (da prendere con il segno meno).

Confrontare le distanze focali con quanto ci si attende dalla legge di composizione delle lenti:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_{1-2}} \,. \tag{1}$$

1.3 Misura dei punti coniugati con lente convergente

Questa parte permette di verificare la legge dei punti coniugati:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \,, \tag{2}$$

ove p è la distanza fra lente e sorgente ("oggetto"), q è la distanza fra lente e immagine. La distanza sorgente-immagine è anche indicata con $s\ (= p + q)$.

1. Disporre lo schermo con forellino ("sorgente") e lo schermo bianco alla massima distanza compatibile con il banco ottico. Misurare la distanza (s).

2. Il portaoggetti con la lente va posto fra di essi. Variando la posizione della lente misurare le distanze p e q per le quali il puntino luminoso è a fuoco sullo schermo. Verificare la simmetria $p_1 \leftrightarrow q_2$; $q_1 \leftrightarrow p_2$.

3. Ripetere le misure avvicinando lo schermo di circa 20 cm (si ottengono altre due coppie p-q) e quindi avvicinandolo di altri 20.

4. Per ciascuna delle sei coppie p-q determinare f dall'equazione della lente. La costanza del valore di f (e la compatibilità del valore ottenuto precedentemente dalla definizione operativa di fuoco, sebbene tale valore sia stato ottenuto "alla buona) equivale ad una verifica della legge che lega i punti coniugati.

1.4 Distanza focale della lente divergente

Ridisporre gli schermi sorgente-immagine alla distanza massima e aggiungere la lente divergente a quella lente convergente.

Trovare, come indicato al punto precedente, i due punti coniugati e la distanza focale del sistema delle due lenti (f_{1-2}). Quindi dall'equazione sulla combinazione delle distanze focali ricavarsi la distanza focale della lente divergente.

1.5 Configurazione "macchina fotografica"

Porre al posto dello schermo con forellino la "diapositiva". Prima di porla sul portaoggetti misurare la lunghezza della freccia grande ($\rightarrow y$). Questa corrisponde all'<u>oggetto</u> da fotografare.

Porre lo schermo bianco, che funge da lastra fotografica (o pellicola), in fondo al banco ottico (posizione più distante dalla lampada).

- Mettere l'oggetto da fotografare a circa 70 cm di distanza dalla lastra fotografica e trovare la posizione della lente più vicina possibile al piano della pellicola per cui l'immagine sia a fuoco:

  - osservare come l'immagine sia capovolta;
  - misurare la grandezza dell'immagine della freccia ($\rightarrow y'$) e quindi il rapporto di ingrandimento

$$G = \frac{y'}{y} \tag{3}$$

    e verificare che esso sia uguale a q/p.

- Ripetere le misure (y', p, q e G) per una distanza oggetto pellicola di circa 60 cm.

- Allontanare e avvicinare l'oggetto dalla "macchina fotografica": si noti come, per rimettere a fuoco, bisogna rispettivamente avvicinare o allontanare la lente ("obiettico") dal piano della pellicola.

1.5.1 Teleobiettivo

Sempre nella posizione "macchina fotografica" si allontani il "soggetto da fotografare" il più lontano possibile dalla macchina fotografica (cioè il più vicino possibile alla lampada). L'immagine sarà molto piccola, appena distinguibile.

Un modo di ingrandire l'immagine, senza poter agire sulla distanza fra macchina fotografica e oggetto da fotografare è quello di aumentare la lunghezza focale dell'obiettivo. Questo può essere fatto con la strumentazione a disposizione accoppiando la lente divergente a quella convergente.

Sistemate le due lenti rimettere a fuoco e osservare come l'immagine che si ottiene è ingrandita a parità di distanza fra pellicola e oggetto (si noti invece come la lente è abbastanza lontana dalla lente rispetto al caso precedente: si sa che i teleobiettivi "avvicinano" ma sono ingombranti).

1.5.2 Effetto del diaframma sulla profondità di campo

Partendo dalla situazione precedente, tenere fissa la posizione della "macchina fotografica" e della "messa a fuoco" (distanza pellicola-lente) <u>avvicinare</u> l'oggetto alla "macchina fotografica" finché l'immagine non comincia a sfocarsi. A questo punto applicare all'obiettivo il diaframma stretto ("buco nello scotch" su opportuno supporto da aggangiare al portalente) e notare come l'immagine ritorni nitida (ma meno brillante - questo fatto va compensato nelle macchine fotografiche aumentando l'esposizione).

Tenendo il diaframma istallato, avvicinare ancora l'oggetto alla "macchina fotografica" fino alla distanza minima alla quale l'immagine è ancora a fuoco. Togliendo il diaframma si vedrà l'immagine completamente sfocata

(Il concetto di *profondità di campo* è legato ai diversi piani distanti dalla pellicola che possono essere contemporaneamente a fuoco sulla stessa immagine.)

1.5.3 Macro e supermacro

Togliere il diaframma e la lente divergente.

Riavvicinare l'oggetto alla pellicola e determinare, mediante rapide prove, quanto vale la distanza minima fra oggetto e pellicola alla quale si riesca ancora a mettere a fuoco. Misurare p, q e rapporto di ingrandimento in questo caso.

Fatto questo, si riposizioni l'oggetto a circa 70 cm dalla pellicola. Si noti come si può riottenere una nuova immagine a fuoco allontanando moltissimo la lente dalla pellicola e avvicinandola molto all'oggetto (è la situazine coniugata a quella precedente). In questo caso l'immagine è molto ingrandita, ma la macchina fotografica diventa molto ingombrante (corrisponde ai cosiddetti *"soffietti"* per fotografare oggetti piccoli con forti ingrandimenti).

Rimisurare il rapporto di ingrandimento e confrontarlo con q/p.

1.5.4 Proiettore per diapositive

Allontanare il sistema diapositiva/lente il più possibile dallo schermo. L'ingrandimento aumenta sempre di più.

Si capisce pertanto come, mantenendo diapositiva e lente vicini e allontanando lo schermo, l'immagine si ingrandisce sempre di più e, in effetti, si è nella situazione del proiettore per diapositive o per pellicole cinematografiche.

Per superare i limiti imposti dalle dimensioni del banco ottico si può togliere lo schermo e proiettare l'immagine direttamente sulla parete di fronte o su un foglio di carta posto a un paio di metri di distanza.

Cercare di determinare anche in questo caso p e q per confrontare l'ingrandimento con q/p.

1.6 Lente d'ingrandimento

Per finire si può usare la lente convergente come ...lente d'ingrandimento.

Togliere lo schermo bianco, lasciare la "diapositiva" e la lente, allontanandole il più possibile dalla lampada, in modo da poter guardare attraverso la lente per osservare comodamente l'immagine ingrandita della diapositiva. Misurare la distanza massima fra lente e oggetto (la diapositiva) tale che l'immagine sia ancora a fuoco. Verificare che si tratta di un'immagine virtuale. Cercare di valutare l'ingrandimento e la distanza dell'immagine dal piano della lente.

1.7 Profondità apparente dell'acqua

Questa semplicissima esperienza va effettuata in una stanza diversa da quella dove sono i banchi ottici e quindi va fatta prima o dopo le altre. Si tratta di misurare il rapporto fra la profondità apparente e quella vera del fondo di un bicchiere di plastica. La misura è fatta accostando al bicchiere con acqua un dischetto, simile al fondo del bicchiere, dove sembrerà allo stesso livello del fondo apparente. Il bicchiere e il dischetto andranno osservati dall'alto con entrambi gli occhi. Quando il dischetto sembra nella posizione giusta verrà segnata la posizione su un post-it attaccato al bicchiere. E' opportuno che i vari membri del gruppo si alternino nelle misure, possibilmente ripetendole più volte.

Per avere un'idea degli errori di stima ed applicate le opportune correzioni è opportuno anche misurare il livello del fondo del bicchiere senz'acqua con lo stesso metodo con cui si stima il fondo apparente.