

SISTEMA

OTTICA 1

NTP9900-4L

MODULARE

OTTICA 1**NTP9160-5G**

101	1	Proiettore diottrico con lampada alogena 12V/20W
201	1	Diaframma con 1 e 2 fenditure
301	1	Diaframma con 3 e 5 fenditure
401	1	Corpo ottico trapezoidale
501	1	Corpo ottico a prisma isoscele
601	1	Corpo ottico semi-circolare
701	1	Vaschetta in plastica rettangolare per rifrazione nei liquidi
801	2	Corpo ottico convesso
901	1	Corpo ottico concavo
1001	1	Specchio piano su basetta
1101	1	Specchio concavo e convesso con raggio di curvatura regolabile
1201	1	Schermo bianco
1301	1	Disco ottico di Hartl

ATTENZIONE: per poter essere identificati nelle schede di sperimentazione, ogni elemento è contrassegnato dal numero d'ordine progressivo e dal simbolo che indica il modulo di appartenenza (S = Stativi, M1 = Meccanica 1, M2 = Meccanica 2, C = Calore, E1 = Elettrologia 1, E2 = Elettrologia 2, O1 = Ottica 1, O2 = Ottica 2); numero e simbolo costituiscono la "Posizione".

OTTICA 1 Ottica Geometrica

NTP9160-5G

Elenco delle esperienze

0 1- Propagazione della luce

- 0 1.1 Sorgenti luminose
- 0 1.4 Propagazione della luce nei corpi
- 0 1.8. Propagazione della luce

0 2 - Riflessione

- 0 2.1. Riflessione della luce sullo specchio piano
- 0 2.2. Riflessione della luce sullo specchio concavo
- 0 2.3. Riflessione della luce sullo specchio convesso

0 3 - Rifrazione

- 0 3.1. La rifrazione della luce
- 0 3.2. Rifrazione della luce nell'acqua
- 0 3.3. Rifrazione aria - vetro
- 0 3.4. Rifrazione vetro - aria
- 0 3.5. Lastra a facce piane e parallele
- 0 3.6. Rifrazione della luce con il prisma

0 4 - Lenti ottiche

- 0 4.1. Le lenti
- 0 4.2. La formula dei punti coniugati
- 0 4.3. Immagine di un corpo esteso prodotto da una lente
- 0.4.6. Aberrazioni delle lenti

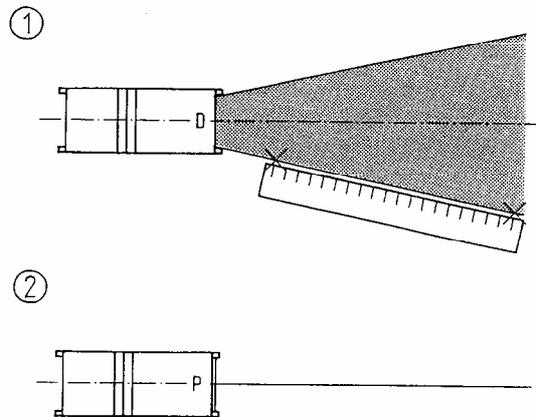
PROPAGAZIONE DELLA LUCE NEI CORPI

O 1.1.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
801	Corpo convesso	1
901	Corpo concavo	1

Alimentatore per il proiettore
 Fili di collegamento
 Foglio di carta bianca
 Righello - matita



E' noto dagli esperimenti di termologia che i corpi ad elevata temperatura emettono luce; pertanto sono sorgenti di luce i corpi in combustione (fiammiferi, candele, torce ecc...) ed i corpi incandescenti (lampade a filamenti, ad arco, ecc.). In relazione alle dimensioni le sorgenti possono essere puntiformi od estese; la sorgente usata di solito in ottica è la lampadina a filamento concentrato (quasi puntiforme).

Una sorgente luminosa isolata irradia luce in tutte le direzioni; se la sorgente è puntiforme, da essa si dipartono idealmente infinite semirette (raggi luminosi) divergenti, che occupano l'intero spazio; un insieme, piccolo o grande, di raggi costituisce un fascio luminoso.

Quando la sorgente è molto lontana si può considerare che un piccolo fascio luminoso sia formato da raggi paralleli.

Scopo di questo esperimenti è studiare le caratteristiche dei fasci luminosi ed il modo in cui essi si propagano.

Montaggio: il proiettore diottico fornito con il modulo Ottica 1 è un apparecchio particolare, concepito per semplificare al massimo le regolazioni sulla sorgente luminosa, rappresentata da una lampadina alogena al quarzo-iodio con filamento concentrato da 20W/12V.

La posizione della lampada è fissa e, per poter usare il proiettore sia sul banco ottico che sul piano del tavolo, la custodia è dotata di due aperture diametralmente opposte: l'una circolare libera, l'altra rettangolare e munita di una lente cilindrica convergente; due coppie di guide consentono l'inserimento dello schermetto nero di chiusura e dei diaframmi.

Per l'accensione della lampada occorre un alimentatore in corrente alternata (o continua) in grado di erogare circa 2 A max 12V.

Esperimento 1: appoggiare il proiettore sul piano del tavolo, accenderlo ed osservare i fasci di luce, che esso emette, da ogni direzione.

Chiudere con lo schermetto l'apertura rettangolare e disporre di fronte al foro circolare un foglio di carta bianca appoggiato su uno spessore (ad es. un libro) in modo che risulti a circa metà altezza del foro stesso. Tracciare con una matita ed un righello i bordi del fascio intercettato dal foglio di carta quindi, alla stessa altezza di questo osservare e segnare con la matita le posizioni estreme, dalle quali è visibile la sorgente luminosa.

Esperimento 2: appoggiare il proiettore su un foglio di carta bianca, chiudere il foro circolare con lo schermetto nero e montare il diaframma con 3 fenditure di fronte all'apertura rettangolare: sul foglio di carta appaiono, netti, 3 piccoli fasci luminosi paralleli.

Disporre la superficie piana del corpo piano-convesso contro il diaframma: sul foglio di carta appaiono, netti, 3 piccoli fasci luminosi convergenti in un punto.

Sostituire il corpo piano-convesso con quello piano-concavo, dopo aver segnato sul foglio di carta l'esatta posizione delle 3 fenditure: sullo stesso foglio appaiono ora 3 fascetti luminosi divergenti.

Guardando attraverso il diaframma con una fenditura (appoggiato verticalmente sul foglio di carta) osservare che la sorgente luminosa è visibile soltanto quando la fenditura è allineata su un fascio.

Segnare con la matita le 3 posizioni individuate.

Spegnere il proiettore e togliere il foglio di carta. Poi, con un righello tracciare le rette individuate dalle 3 coppie di punti (e corrispondenti ai 3 fasci luminosi) ed osservare che esse si intersecano in un punto, la cui distanza dalla fenditura centrale corrisponde con buona approssimazione alla distanza del filamento della lampada dalla fenditura stessa.

Conclusioni: una sorgente luminosa puntiforme irradia luce in tutte le direzioni e pertanto i raggi emessi sono divergenti come chiaramente è mostrato dal fascio conico del primo esperimento; inoltre la luce si propaga in linea retta ed è visibile soltanto, se i raggi luminosi pervengono al nostro occhio. Il proiettore diottrico è un apparecchio un grado di fornire fasci luminosi convergenti, divergenti e paralleli; in quest'ultimo caso esso simula una sorgente lontana con buoni risultati sul piano sperimentale.

PROPAGAZIONE DELLA LUCE NEI CORPI

O 1.4.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
401	Corpo ottico trapezoidale – lastre a facce piane e parallele	1
701	Vaschetta in plastica, rettangolare	1
1001	Specchio piano su basetta	1

Alimentatore 12 V
Fili di collegamento
Foglio di carta
Acqua

I vari mezzi materiali, a seconda della loro natura, si comportano in modi diversi, quando vengono colpiti dalla luce. Un corpo può impedire completamente il passaggio dei raggi luminosi oppure può consentire che l'energia luminosa lo attraversi in misura più o meno grande.

Montaggio: appoggiare il proiettore (senza diaframmi) su un foglio di carta bianca, chiudere il foro circolare posteriore con lo schermetto nero, quindi preparare i vari elementi come appare nell'illustrazione.

Alimentare il proiettore a 12 V (in corrente continua o alternata).

Esperimento 1: accendere il proiettore poi disporre la lastra a facce piane e parallele ortogonalmente al fascio luminoso con la superficie smerigliata sul foglio di carta. Controllare la larghezza del fascio prima e dopo la lastra. Sostituire la lastra di plexiglas con la vaschetta piena di acqua e ripetere le misurazioni.

Esperimento 2: disporre la lastra con la superficie smerigliata verticale ed ortogonale al fascio di luce. Osservare cosa accade dietro la superficie smerigliata.

Esperimento 3: appoggiare la lastra con lo specchio piano sul foglio di carta, in modo da tagliare completamente il fascio luminoso, con la superficie nera rivolta verso il proiettore; osservare cosa accade dietro la lastra.

Ruotare la lastra di 90° così che l'asse maggiore risulti parallelo ai raggi e osservare cosa accade dietro la lastra stessa.

Conclusioni: sostanze come il plexiglass, l'acqua pura, il vetro ecc. le quali possono essere attraversate dai raggi luminosi, sono dette "**trasparenti**".

Gli oggetti, osservati attraverso corpi trasparenti, sono perfettamente visibili. I corpi come il plexiglass smerigliato, il vetro smerigliato, la carta sottile, ecc. sono definiti "**traslucidi**"; essi possono essere attraversati dalla luce, ma non consentono di distinguere nettamente gli oggetti posti al di là di essi. Infine i corpi che non trasmettono la luce ed impediscono la visione di oggetti posti al di là di essi sono detti "**opachi**"; questi corpi, se hanno dimensioni inferiori al fascio di luce che li colpisce, proiettano la loro ombra nello spazio retrostante.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
401	Corpo ottico trapezoidale	1
701	Vaschetta in plastica	1
1001	Specchio piano su base	1
9S	Forbici	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Matita	
	Acqua – Latte	
	Permanganato di potassio	

Nel vuoto ed in ogni mezzo omogeneo isotropo trasparente la luce si propaga in linea retta.

Su questa concezione si fonda l'**Ottica Geometrica** la quale esamina i diversi fenomeni connessi alla propagazione della luce, ricercandone le leggi che li regolano.

Scopo di questo esperimento introduttivo è l'osservazione qualitativa di tali fenomeni e l'introduzione della terminologia appropriata, della quale verrà fatto uso nelle successive sperimentazioni.

Montaggio: appoggiare il proiettore, senza diaframmi, su un foglio di carta bianca, chiudere il foro circolare posteriore con lo schermetto nero, quindi preparare i vari elementi come appare nell'illustrazione.

Collegare il proiettore ad una sorgente di tensione a 12 V, indifferentemente continua od alternata.

Esperimento 1: appoggiare a circa cm 10 dal proiettore la lastrina con lo specchio piano, angolata rispetto all'asse del fascio in modo da poter riconoscere la direzione dei raggi luminosi. Ruotare la lastrina di 180° così da esporre alla luce la superficie nera ed osservare il comportamento del fascio luminoso.

Ritagliare una striscia di carta bianca, piegarne le estremità ad U ed appoggiarla contro la lastrina: osservare il comportamento della luce, quando colpisce la superficie bianca.

Esperimento 2: ridurre le dimensioni del fascio ad un sottile pennello di luce montando sul proiettore il diaframma con 1 fenditura. Disporre, sempre a cm 10 dal proiettore, ortogonalmente al fascio, la lastra a facce piana e parallele con la superficie smerigliata sul foglio di carta. Segnare con la matita il percorso del fascio prima e dopo la lastra, nonché il contorno della lastra stessa (in particolare della superficie anteriore e posteriore). Ripetere le operazioni, dopo aver angolato la lastra di 40°-50° rispetto al fascio luminoso incidente. Sostituire il foglio di carta e ripetere le due prove con la vaschetta piene d'acqua limpida. Cambiare ancora una volta il foglio di carta poi appoggiare su di esso la vaschetta d'acqua colorata (ottenuta sciogliendo un granello di permanganato potassico in 50 ml d'acqua); osservare l'intensità del fascio luminoso che emerge

dalla vaschetta, disposta prima con i lati maggiori e poi con i lati minori ortogonali al fascio medesimo. Annotare le osservazioni. Infine diluire un po' di latte in acqua e sostituire con questa emulsione l'acqua colorata della vaschetta; osservare il comportamento della luce nel liquido.

Conclusioni: quando i raggi luminosi incontrano sul loro cammino un corpo, si verificano uno o più dei seguenti fenomeni:

Riflessione Se il corpo è opaco e ha la superficie ben levigata, lucida, i raggi luminosi vengono quasi totalmente respinti (cioè riflessi) in ben determinate direzioni. Gli specchi sono un'applicazione di questo fenomeno.

Diffusione Un corpo opaco chiaro, non ben levigato (come la carta bianca) non riflette la luce secondo precise direzioni, ma un po' dappertutto a causa delle piccole scabrosità della sua superficie. Anche le piccole particelle grasse del latte ed il pulviscolo atmosferico si comportano allo stesso modo, rendendo visibile il fascio luminoso, che, diversamente, non lo sarebbe. Il fenomeno della diffusione della luce è di grande importanza, poiché, grazie ad esso il nostro occhio può percepire la luce riflessa (per diffusione) e, quindi, vedere gli oggetti illuminati. Ciò non si verifica con i corpi opachi neri, i quali assorbono quasi totalmente le radiazioni luminose.

Assorbimento Non esistono corpi perfettamente trasparenti, ma tutti in natura, in misura più o meno grande a seconda della densità ottica e dello spessore, assorbono l'energia luminosa.

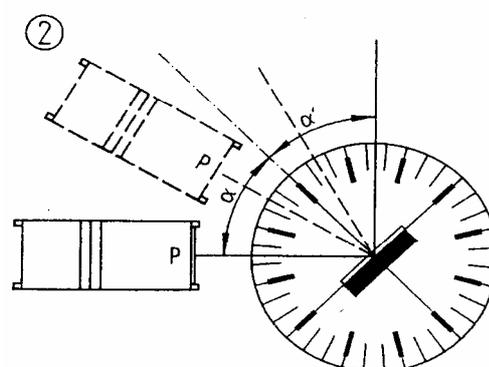
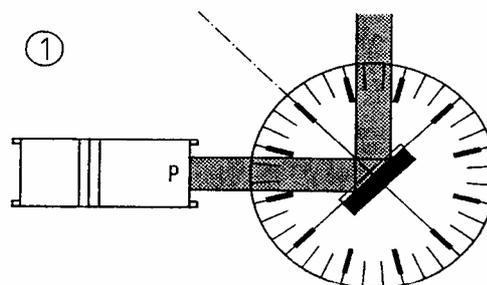
Rifrazione Quando nella loro propagazione rettilinea i raggi luminosi incontrano un corpo trasparente, penetrano all'interno di esso e, se la superficie di separazione tra i due mezzi non è ortogonale ai raggi stessi, questi deviano più o meno dall'originaria direzione (si rifrangono, cioè si spezzano).

RIFRAZIONE DELLA LUCE SU UNO SPECCHIO PIANO

O 2.1.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
1001	Specchio piano su base	1
1301	Goniometro di plastica – disco di Hartl	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Matita righello	



Quando un fascio di luce incontra sulla sua propagazione, la superficie levigata e lucida di un corpo, i suoi raggi "rimbalzano" sulla superficie stessa e cambiano bruscamente la direzione di propagazione.

Il fenomeno detto "**riflessione**", obbedisce a leggi definite, che saranno esaminate in questo esperimento; le superfici che hanno la proprietà di causare la riflessione, sono dette "superfici speculari" o **specchi**.

Montaggio: tracciare al centro di un foglio di carta bianca due rette ortogonali, quindi disporre la lastrina con specchio piano contro una di esse di modo che l'altra risulti perpendicolare al punto centrale della medesima superficie. Appoggiare il proiettore, munito del diaframma con la fenditura, sul foglio di carta a circa cm 15 dallo specchio, osservando che l'asse longitudinale dell'apparecchio sia parallelo alla normale allo specchio. Accendere il proiettore (alimentato a 12 V).

Esperimento 1: regolare la posizione del proiettore per far sì che il fascetto luminoso coincida con la normale allo specchio: il fascio incidente ed il fascio riflesso si sovrapporranno in un unico fascio, se il primo è esattamente ortogonale alla superficie speculare. Spostare lateralmente il proiettore di cm 3 ed orientare il fascio di luce contro il punto di intersezione della normale con lo specchio (questo procedimento dovrà essere attuato in tutte le prove successive): segnare con una matita due punti del fascio incidente e due del fascio riflesso, contrassegnandoli in modo da poterli riconoscere.

Ripetere la prova dopo aver spostato il proiettore a cm 6 dalla posizione iniziale e successivamente a cm 9.

Togliere il foglio di carta e spegnere il proiettore, poi con il righello tracciare il percorso di ciascun fascio incidente e del relativo raggio riflesso, ed infine, con un goniometro, misurare l'angolo che ciascuno di essi forma con la normale allo specchio.

Per ogni fascio luminoso incidente confrontare l'angolo di incidenza con l'angolo di riflessione ed annotarne le osservazioni.

Esperimento 2: preparare un altro foglio di carta bianca come per l'esperimento 1 e ripetere la prima e la terza prova dopo aver sostituito il diaframma ad 1 fenditura con quello a 5 fenditure.

Conclusioni: il raggio incidente, la normale allo specchio ed il raggio riflesso giacciono nello stesso piano; l'angolo formato dal raggio incidente con la normale allo specchio (**angolo di incidenza**) è uguale all'angolo che il raggio riflesso forma con la stessa normale (**angolo di riflessione**).

Raggi paralleli incidenti su uno specchio piano, dopo la riflessione sono ancora paralleli; questa osservazione può servire come criterio di valutazione della qualità di uno specchio piano.

Nota: per riscontrare in modo diretto la validità delle conclusioni alle quali si è pervenuti con i suddetti esperimenti, si possono ripetere le prove, usando il goniometro di plastica (disco di Hartl) al posto del foglio di carta.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
1101	Specchio concavo e convesso con raggio di curvatura regolabile	1

Alimentatore 12 V
 Fili di collegamento
 Foglio di carta bianca
 Righello – matita

Quando un fascio di raggi luminosi paralleli incide su uno specchio concavo, i raggi vengono riflessi in accordo con le leggi della riflessione; tuttavia a causa della conformazione geometrica della superficie speculare i raggi paralleli incidenti giungono sullo specchio secondo angoli diversi e, pertanto, vengono riflessi secondo direzioni diverse, ad eccezione del raggio centrale, la cui direzione coincide con la normale alla superficie stessa nel punto di incidenza. I raggi luminosi riflessi si intersecano in un punto detto **fuoco**.

Scopo dell'esperimento è studiare la riflessione prodotta da uno specchio sferico concavo e cercare la relazione fra la distanza focale ed il raggio di curvatura di questo tipo di specchio.

Montaggio: al centro di un foglio di carta bianca tracciare due rette ortogonali poi disporre il proiettore con il proprio asse ottico coincidente con la più lunga delle due a circa cm 15 dal punto di intersezione. Allentare il pomello di bloccaggio della lamina speculare poi, premendo sui cilindretti di supporto, provocare una leggera flessione della lamina stessa in modo che assuma la forma di arco di circonferenza; bloccare il pomello, quindi appoggiare lo specchio sul foglio di carta con la cavità rivolta al proiettore. Allineare i cilindretti di supporto sulla seconda retta, regolandone la posizione di modo che la prima retta sia normale al punto centrale dello specchio e venga così a rappresentare l'asse ottico.

Montare il diaframma con 3 fenditure ed accendere il proiettore.

Esperimento 1: verificare come nell'illustrazione **a)** che il raggio luminoso centrale coincida con l'asse dello specchio; in questa posizione il raggio centrale viene riflesso su se stesso, mentre i raggi superiore ed inferiore vengono riflessi lungo direzioni convergenti e si intersecano in un punto (fuoco) appartenente all'asse ottico dello specchio stesso (se ciò non si verificasse, regolare la posizione dello specchio). Segnare con una matita la forma della superficie speculare concava, il punto **O** origine dell'asse ottico, il fuoco **F**, nonché i punti di incidenza **M** ed **N** rispettivamente del raggio superiore e del raggio inferiore.

Sostituire il diaframma a 3 fenditure con quello ad 1 fenditura, poi spostare il proiettore come nell'illustrazione **b)** e regolare la posizione fino a sovrapporre il raggio incidente in **N** con il raggio riflesso; segnare il punto di intersezione **C** del raggio luminoso con l'asse ottico dello specchio. Misurare con un righello le distanze **F0**, **C0** e confrontarle; misurare anche **CM** e **CN** e concludere.

Esperimento 2: posizionare il proiettore come nella figura **c)** in modo che il raggio luminoso passi per il punto **F** ed incida nel punto **N** della superficie speculare: il raggio riflesso risulta parallelo all'asse ottico dello specchio.

Ripetere l'operazione con il punto **M**.

Cosa accadrebbe se una sorgente puntiforme fosse posta nel fuoco dello specchio concavo?

Conclusioni: l'uguaglianza delle distanze **CM**, **C0** e **CN** indica che lo specchio concavo esaminato è un arco di circonferenza con centro in **O**, raggio di curvatura **r**. La distanza **f** del fuoco dall'origine **O** dell'asse ottico dello specchio è **$f = r/2$** .

Un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse ottico di uno specchio concavo viene riflesso nel fuoco dello specchio, mentre lo stesso specchio produce un fascio di raggi paralleli, se una sorgente luminosa puntiforme viene posta nel suo fuoco.

RIFLESSIONE DELLA LUCE SULLO SPECCHIO CONVESSO

O 2.3.

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
1101	Specchio concavo e convesso con raggio di curvatura regolabile	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Fogli di carta bianca	
	Righello – Matita	

Quando un fascio di raggi luminosi paralleli incide su uno specchio convesso, i raggi vengono riflessi in accordo con le leggi della riflessione; tuttavia, a cause della conformazione geometrica della superficie speculare, i raggi paralleli incidenti (eccezion fatta per il raggio centrale, parallelo all'asse ottico dello specchio) giungono nello specchio secondo angoli diversi e pertanto, risultano riflessi secondo direzioni diverse. I raggi luminosi riflessi costituiscono un fascio divergente ed i loro prolungamenti si intersecano in un punto (fuoco virtuale) situato dietro lo specchio.

Scopo dell'esperimento è studiare le proprietà e le caratteristiche dello specchio convesso.

Montaggio: tracciare al centro di un foglio di carta bianca due rette ortogonali poi disporre il proiettore con il proprio asse coincidente con la più lunga delle due, a circa cm 15 dal punto di intersezione. Allentare il pomello di bloccaggio della lamina speculare, quindi, premendo sui cilindretti di supporto, provocare una leggera flessione della lamina stessa di modo che la parte lucida acquisisca la forma di uno specchio convesso; bloccare il pomello ed infine appoggiare lo specchio sul foglio di carta con la convessità rivolta al proiettore. Allineare i cilindretti sulla retta ortogonale all'asse del proiettore di modo che questo sia normale al punto centrale dello specchio e coincida con l'asse ottico di quest'ultimo. Montare il diaframma con 3 fenditure ed accendere il proiettore (alimentazione a 12 V c.a. o c.c.).

Esperimento: verificare anzitutto che il fascio luminoso centrale coincida con l'asse ottico dello specchio convesso; in questa posizione il raggio centrale viene riflesso su se stesso, mentre i raggi superiore ed inferiore vengono riflessi, come nella figura **a**), lungo direzioni divergenti.

Segnare con una matita la forma della superficie speculare convessa, il punto **O** di origine dell'asse ottico, i punti di incidenza **M** ed **N** rispettivamente del raggio superiore e del raggio inferiore, nonché altri due punti qualsiasi dei suddetti raggi riflessi.

Sostituire il diaframma a 3 fenditure con quello ad 1 fenditura, poi disporre il proiettore come nell'illustrazione **b**) e regolarne la posizione fino a sovrapporre il raggio incidente in **M** con il raggio riflesso; segnare in modo inequivocabile due punti di questo raggio luminoso.

Spegnere il proiettore e toglierlo con lo specchio dal foglio di carta, quindi con un righello tracciare i prolungamenti di tutti i raggi riflessi, utilizzando i punti segnati. Segnare i punti di intersezione di queste rette con l'asse ottico dello specchio: i prolungamenti dei raggi riflessi divergenti si incontrano in **F**, i prolungamenti dei raggi ortogonali alla superficie speculare si incontrano in **C**. Misurare le distanze **C-M**, **C-O**, **C-N** e confrontarle, misurare anche **F-O**.

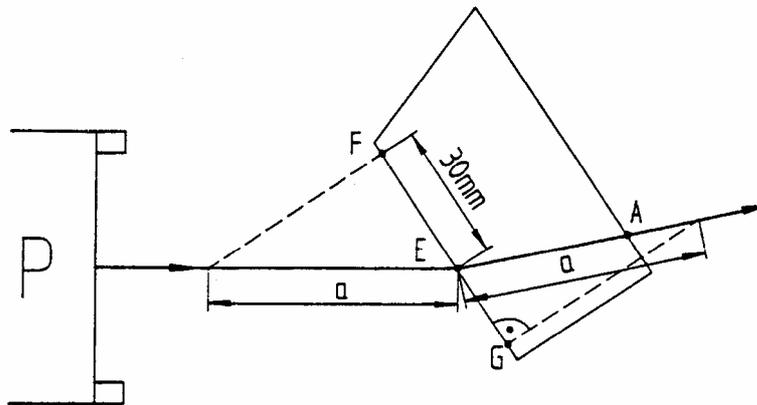
Conclusioni: l'uguaglianza delle distanze **C-M**, **C-O**, **C-N** indica che lo specchio convesso esaminato è un arco di circonferenza con centro in **O** e raggio di curvatura r . Un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse ottico di uno specchio convesso danno origine, per effetto della riflessione, ad un fascio di raggi divergenti i prolungamenti dei quali si intersecano in un punto **F** (fuoco virtuale) situato dietro lo specchio. La distanza focale f dello specchio convesso è $r/2$, la distanza focale f è considerata negativa.

LA RIFRAZIONE DELLA LUCE

O 3.1.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
401	Corpo ottico trapezoidale	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	



Quando un fascio di raggi luminosi, propagantesi in un mezzo isotropo trasparente, incontra un'altra sostanza, anch'esse isotropa e trasparente, ma di diversa densità ottica, sulla superficie di separazione fra i due mezzi il fascio subisce una brusca deviazione: una parte dei raggi viene riflessa, secondo le leggi ormai note, e non cambia il mezzo di propagazione, la parte restante del fascio prosegue il suo cammino nel secondo mezzo, ma con una direzione di propagazione diversa della precedente. Questo fenomeno, detto **rifrazione** della luce, obbedisce a precise leggi fisiche, le quali saranno oggetto di ricerca nel presente esperimento e nei successivi del gruppo O 3...

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Al centro di un foglio di carta bianca tracciare due rette: una parallela ai lati maggiori, l'altra inclinata secondo un angolo qualsiasi ad intersecare la prima nel punto E. Disporre il corpo ottico trapezoidale contro la retta inclinata, facendo coincidere con essa uno dei lati maggiori di modo che il punto E sia circa al centro del lato stesso. A cm 10 –15 di distanza appoggiare il proiettore (allineato sulla prima retta) con l'apertura rettangolare rivolta al corpo ottico e quella circolare chiusa dallo schermetto nero; montare tra le guide anteriori il diaframma con 1 fenditura. Infine accendere il proiettore (alimentazione a 12 V corrente alternata o continua).

Esperimento: regolare la posizione del proiettore in modo che il fascetto luminoso coincida con la prima retta e penetri nel corpo di plexiglass esattamente in E. E' chiaramente visibile che da questo punto in avanti il fascio luminoso prosegue nel plexiglass secondo una diversa direzione.

Tracciare con una matita il lato posteriore del corpo ottico e segnare su di esso il punto A di uscita del fascio. Spegnerne il proiettore e toglierlo dal foglio di carta insieme al corpo trapezoidale.

A partire dal punto E staccare sulla retta inclinata, che materializza la superficie di separazione aria-plexiglass, un segmento lungo mm 30 e tracciare la normale ad esso, passante per il punto F,

fino ad incontrare in **I** la retta rappresentante il raggio incidente: si ottiene così il segmento **I-E** di lunghezza **a**.

Partendo ancora dal punto **E**, tracciare la semiretta passante per **A** in modo da materializzare il raggio rifratto nel plexiglass; staccare su di essa un segmento di lunghezza **a** attraverso il cui estremo **H** si dovrà tracciare la normale alla linea limite per ottenere il punto **G**. Misurare la lunghezza del segmento **EG** ed infine calcolare il rapporto fra la lunghezza del segmento **EF** (mm 30) ed il valore misurato di **EG**.

Conclusioni: se un fascio luminoso che si propaga nell'aria incontra un mezzo di densità ottica diversa, a partire dalla superficie di separazione e fra i due mezzi esso viene deviato (rifratto) dalla sua direzione di propagazione nel primo mezzo. La variazione di direzione di un fascio luminoso nel passaggio da un mezzo ad un altro può essere espressa dal rapporto calcolato al termine dell'esperimento; tale rapporto viene definito **indice di rifrazione relativo** del secondo mezzo (sostanza B) rispetto al primo (sostanza A) e si indica con n_{AB} .

Se come primo mezzo di propagazione viene usato il vuoto in cui n vale 1, l'indice di rifrazione del secondo mezzo viene detto indice di rifrazione assoluto.

Ogni sostanza trasparente gassosa, liquida o solida ha un proprio **indice di rifrazione assoluto**.

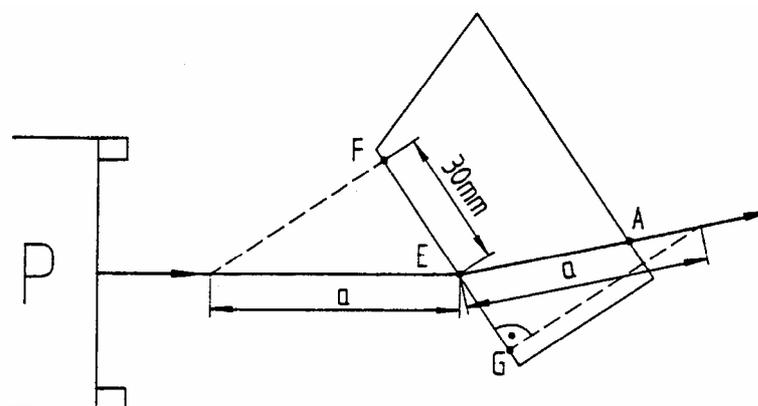
L'indice di rifrazione relativo del plexiglass rispetto all'aria è: $n_{ap} = 1,5$ ed è molto vicino a quello del vetro.

RIFRAZIONE DELLA LUCE NELL'ACQUA

O 3.2.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
701	Vaschetta in plastica trasparente	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	
	Acqua	



Quando si osserva un oggetto attraverso due mezzi trasparenti diversi (ad es. aria-acqua), esso non ci appare nella posizione, in cui effettivamente si trova, poiché i raggi luminosi provenienti dall'oggetto, attraversando la superficie di separazione fra i due mezzi, giungono al nostro occhio deviati, dando l'impressione che l'oggetto occupi una posizione diversa da quella reale. Così ad esempio, un bastoncino immerso nell'acqua appare spezzato alla superficie del liquido, mentre nella realtà non lo è.

Scopo del presente esperimento è studiare la rifrazione della luce nel passaggio dall'aria all'acqua e ricavare, come nell'esperimento O 3.1. l'indice di rifrazione.

Montaggio: tracciare su un foglio di carta bianca due rette, l'una parallela ai lati maggiori del foglio, l'altra inclinata di un angolo qualsiasi. Disporre la vaschetta trasparente piena d'acqua in corrispondenza della retta inclinata, facendo coincidere con essa un lato maggiore; il punto di intersezione delle due rette deve essere circa al centro dello stesso lato. Tracciare il contorno della vaschetta poi, a cm 10 di distanza appoggiare il proiettore (allineato sulla prima retta) con l'apertura rettangolare rivolta alla vaschetta e quella circolare chiusa dallo schermetto nero; montare fra le guide anteriori il diaframma con 1 fenditura. Accendere il proiettore (alimentazione 12 V c.c. o c.a.) e regolarne la posizione in modo da sovrapporre esattamente il fascio luminoso alla prima retta.

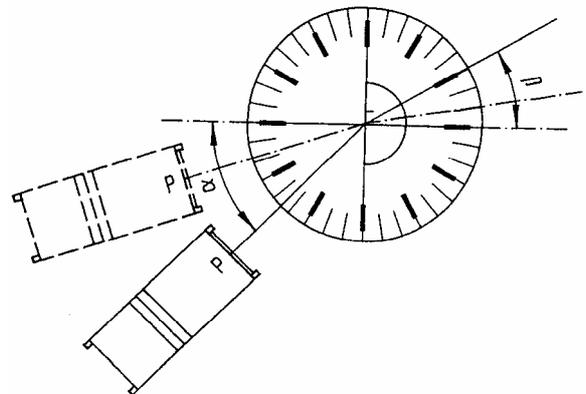
Esperimento: osservare che nel passaggio dall'aria all'acqua il fascio luminoso viene bruscamente deviato (rifratto) dalla sua retta di propagazione; segnare con la matita il punto A di uscita del fascio dalla vaschetta. Spegnerne il proiettore e toglierlo con la vaschetta dal foglio di carta poi, con un righello tracciare la semiretta uscente da E e passante per A in modo da materializzare la direzione del raggio rifratto.

A partire dal punto **E** staccare sulla linea di separazione aria-acqua il segmento **E-F** lungo mm 30 quindi tracciare la normale, con piede in **F**, fino ad incontrare nel punto **I** il raggio incidente. Partendo ancora dal punto **E**, riportare sul raggio rifratto un segmento di lunghezza **a** (uguale alla lunghezza del segmento **I-E**), attraverso l'estremo **H** del quale si dovrà tracciare la normale alla linea di separazione dei due mezzi per ottenere il punto **G**. Misurare la lunghezza del segmento **E-G** ed infine calcolare il rapporto $n = E-F/E-G$.

Conclusioni: alla stessa stregua dei solidi trasparenti (come il plexiglass ed il vetro) anche i liquidi trasparenti (come l'acqua, l'alcool, l'olio, ecc.) causano la rifrazione della luce. L'esperimento, infatti, ha dimostrato che un fascio luminoso nel passaggio dall'aria all'acqua viene deviato, a partire dalla superficie di separazione fra i due mezzi, dalla sua direzione originaria di propagazione. L'indice di rifrazione **n** misura anche in questo caso l'entità della deviazione. L'indice di rifrazione relativo dell'acqua (**w**) rispetto all'aria (**a**) è : $n_{aw} = 1,3$.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
601	Corpo ottico semicircolare	1
1301	Disco ottico di Hartl	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	



Questo esperimento ha lo scopo di approfondire il concetto di rifrazione e di ricavare le leggi che regolano tale fenomeno; allo scopo verrà usato il corpo ottico semicircolare, il quale ha la proprietà, se i raggi luminosi sono diretti verso il suo centro di curvatura, di presentare la superficie semicircolare sempre perpendicolare ai raggi stessi.

Montaggio: disporre il disco ottico al centro di un foglio di carta bianca con i diametri stampati paralleli ai lati del foglio poi, con una matita tracciare la circonferenza di contorno del disco e segnare con esattezza i punti **0 – 0** e **90 – 90**. Disporre al centro del disco, nella posizione indicata dall'illustrazione, il corpo semicircolare e di fronte ad esso appoggiare il proiettore, la cui apertura rettangolare sarà stata schermata dal diaframma con 1 fenditura e quella circolare chiusa dallo schermetto nero.

Osservare con attenzione che, nel corso di ogni misurazione, il fascio luminoso emesso dal proiettore incida esattamente nel punto di intersezione fra i due diametri del disco e che questo punto coincida con il centro di curvatura del corpo ottico; in questa condizione segnare sul foglio di carta, in corrispondenza del contorno del disco, il punto di transito del raggio incidente ed il relativo punto di uscita del raggio rifratto; ciascuna coppia di punti dovrà esser contrassegnata in modo inequivocabile per poter essere successivamente distinta (ad es. **A₁, A₂ ...** per il raggio incidente, **B₁, B₂ ...** per il relativo raggio rifratto).

Esperimento: preparare una tabella come quella sottoriportata, poi eseguire, con le avvertenze su indicate, le prove stabilite dalla tabella stessa, riportando in essa i valore dell'angolo di rifrazione \hat{r} corrispondente a ciascun angolo di incidenza \hat{i} . Esaurite le prove, spegnere il proiettore e togliere il disco ottico quindi, con un righello, tracciare i due diametri ortogonali come nel disco ottico. Seguendo il metodo grafico utilizzato nell'esperimento O 3.1., con il righello parallelo alla linea **0-0** proiettare sulla linea **90-90** ciascuna coppia di punti (**A₁B₁, A₂B₂, ecc...**). Misurare la lunghezza dei corrispondenti segmenti a partire dal punto di intersezione dei diametri (punto **C** di incidenza dei raggi luminosi).

Riportare in tabella (riga Distanze **CA_x**) i valori **CA₁, CA₂,...** e (riga Distanze **CB_x**) i valori **CB₁, CB₂, ecc...** ed infine calcolare i rapporti **CA₁/CB₁, CA₂/CB₂, ecc.**

Angolo di incidenza \hat{i}	0°	20°	40°	60°	80°	90° ca.
Angolo di rifrazione \hat{r}	...	...	...	...	...	...
Distanze CA_x	...	...	...	...	...	...
Distanze CB_x	...	...	...	...	...	...
$n_{ap} = CA_x/CB_x$	...	...	...	...	...	...

(a = aria, p = plexiglass)

Conclusioni: il raggio incidente, la normale alla superficie di separazione nel punto di incidenza ed il raggio rifratto giacciono nello stesso piano.

Nel passaggio da una sostanza meno densa (come l'aria) ad una otticamente più densa (come il plexiglass) il fascio luminoso viene rifratto e l'angolo di incidenza è sempre maggiore dell'angolo di rifrazione; la costanza di n_{ap} , riscontrata nei limiti degli errori sperimentali, mostra che questa è una caratteristica di ciascuna sostanza; quando l'angolo di incidenza è

$i = 0$, il fascio luminoso prosegue nella sua propagazione rettilinea anche nel secondo mezzo; quando l'angolo di incidenza si approssima a 90°, l'angolo di rifrazione nel passaggio dall'aria al plexiglass è il massimo possibile per questa sostanza, cioè circa 42°.

Nota: la misura dell'indice di rifrazione, indicata fino ad ora è un metodo grafico utilizzabile quando non si hanno nozioni di trigonometria.

L'espressione abituale della seconda legge della rifrazione è la seguente:

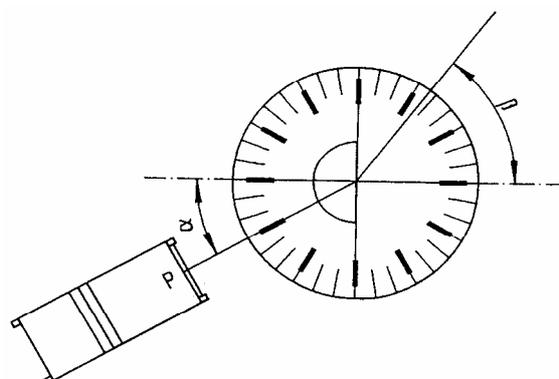
$$n = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \text{costante}$$

RIFRAZIONE VETRO – ARIA

O 3.4.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
601	Corpo ottico semicircolare	1
1301	Disco ottico di Hartl	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	



Questo esperimento completa la prova precedente nel senso che, per poter trarre delle conclusioni di carattere generale sulla rifrazione della luce, occorre estendere la ricerca anche al caso, in cui il fascio luminoso passi da un mezzo trasparente otticamente più denso ad uno meno denso. Allo scopo verrà ancora usato il corpo ottico semicircolare di plexiglass, grazie alla proprietà geometrica già indicata.

Montaggio: disporre il disco ottico al centro di un foglio di carta bianca con i diametri stampati paralleli ai lati del foglio poi tracciare con la matita il contorno del disco e segnare con esattezza sulla circonferenza i punti **0 – 0** e **90 – 90**. Seguendo l'illustrazione disporre al centro del disco il corpo semicircolare e, di fronte ad esso, il proiettore con l'apertura rettangolare schermata dal diaframma con 1 fenditura e l'apertura circolare chiusa dallo schermetto nero. Allineare il proiettore con la linea **0 – 0** e rammentare, come nell'esperimento O 3.2., che il fascio luminoso deve incidere esattamente nel punto di intersezione **C** dei due diametri (dopo aver attraversato il plexiglass) e che questo punto deve coincidere con il centro di curvatura del corpo semicircolare. In questa condizione si dovrà segnare sulla circonferenza il punto di transito del raggio incidente ed il punto di uscita del relativo raggio rifratto; contrassegnare ciascuna coppia di punti in modo da poterla riconoscere (ad es.: **D₁, D₂ ...** per il raggio incidente e **E₁, E₂ ...** per il raggio rifratto).

Esperimento 1: preparare una tabella come quella sottoriportata, poi eseguire le prove stabilite dalla tabella stessa, osservando le avvertenze indicate; per ogni angolo di incidenza \hat{i} riportare il corrispondente angolo di rifrazione \hat{r} , misurato sul disco ottico.

Angolo di incidenza \hat{i}	20°	30°	38°	42°	45°
Angolo di rifrazione \hat{r}
Distanze CD_x
Distanze CE_x
n_{pa} = CD_x/CE_x

(**p** = plexiglass, **a** = aria)

Esperimento 2: scegliere un angolo di incidenza, ad es. $\hat{i} = 95^\circ$, segnare con esattezza il punto di uscita del raggio rifratto, poi spostare il proiettore in modo da avere il raggio incidente al posto del raggio rifratto.

Osservare in quale punto emerge dal disco il nuovo raggio rifratto (aria – plexiglass).

Esaurite le prove, smontare l'apparecchiatura poi, seguendo lo stesso metodo grafico descritto nell'esperimento O 3.2., misurare la lunghezza dei segmenti **C-D₁**, **C-D₂**, e

C-E₁, **C-E₂**, ecc... e riportarne i valori nella tabella per il successivo calcolo di np_a .

Conclusioni: un fascio luminoso, propagantesi in un mezzo come il plexiglass, nel passaggio ad un mezzo otticamente meno denso, come l'aria, viene rifratto e l'angolo di rifrazione è sempre maggiore dell'angolo di incidenza. Se questo ultimo è 0, il fascio luminoso prosegue nella sua propagazione rettilinea anche nel secondo mezzo. Quando l'angolo di rifrazione (nell'aria) raggiunge 90° , l'angolo di incidenza (nel plexiglass) è di circa 42° : questo valore rappresenta l'**angolo limite** della rifrazione plexiglass-aria.

Per angoli di incidenza superiori al valore suddetto si verifica la riflessione totale: il raggio luminoso non penetra nel secondo mezzo, ma viene totalmente riflesso dalla superficie di separazione, che si comporta come uno specchio.

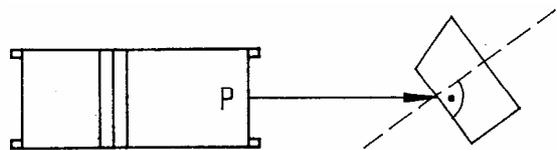
Se si confronta l'indice di rifrazione np_a con l'indice di rifrazione np_a (dall'esperimento O 3.2.), si osserva che : $np_a = 1/np_a$; infatti l'esperimento 2 mostra che la rifrazione verifica il principio della reciprocità del cammino dei raggi luminosi.

LASTRA A FACCE PIANE E PARALLELE

O 3.5.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
401	Corpo ottico trapezoidale	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	



Quando un fascio luminoso attraversa più sostanze, su ogni superficie di separazione di due mezzi contigui si verifica una rifrazione. Il fenomeno, che sicuramente non è sfuggito agli osservatori attenti nel corso degli esperimenti O 3.1. ed O 3.2. è oggetto di studio della presente sperimentazione, nella quale verrà esaminato il caso della lastra a facce piane e parallele immersa in aria. Servirà allo scopo il corpo ottico trapezoidale di plexiglass, i cui lati maggiori sono rigorosamente paralleli; la successione dei mezzi di propagazione sarà pertanto: aria – plexiglass con superfici di separazione rispettivamente aria – plexiglass e plexiglass – aria.

Montaggio: appoggiare al centro di un foglio di carta bianca il corpo ottico trapezoidale e tracciarne con la matita il contorno, poi con un righello prolungare i lati paralleli e tracciare la perpendicolare ad esse all'incirca a metà del corpo ottico (retta tratteggiata). Seguendo l'illustrazione disporre il proiettore a cm 10 dal corpo ottico con l'apertura rettangolare rivolta ad esso e schermata dal diaframma con 1 fenditura; chiudere l'apertura circolare con lo schermetto nero. Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a.

Esperimento: regolare la posizione del proiettore in modo che il fascio luminoso incida esattamente nel punto di intersezione fra il lato anteriore del corpo ottico e la normale con un angolo \hat{i} di incidenza di circa 20° .

Segnare con alcuni punti il percorso del raggio incidente e del raggio emergente a partire dal punto di uscita.

Ripetere la prova, spostando il proiettore in modo da avere $\hat{i} = 40^\circ$ e successivamente $\hat{i} = 60^\circ$ con il fascio luminoso incidente sempre nello stesso punto. Segnare ogni volta il percorso dei raggi luminosi incidente ed emergente, nonché il punto di uscita di quest'ultimo, procurando che le indicazioni per ciascuna prova siano distinguibili.

Togliere il proiettore, dopo averlo spento, ed il corpo ottico, quindi riprodurre con un righello il percorso dei raggi luminosi incidente e rifratto, compreso il tratto interno alla lastra con faccie piane e parallele.

Misurare lo spostamento del raggio emergente dalla retta di propagazione del raggio incidente e trarne le conclusioni:

Angolo di incidenza \hat{i}	20°	40°	60°
Spostamento p	... mm	... mm	... mm

Conclusioni: quando un fascio luminoso attraversa una lastra a facce piane e parallele, il fascio incidente ed il fascio emergente sono paralleli; le distanze fra le due rette di propagazione (spostamento **p**) aumenta con l'aumentare dell'angolo di incidenza \hat{i} . In base alle nozioni acquisite in precedenza si può aggiungere che **p** aumenta anche con l'aumentare dello spessore **d** della lastra e con l'indice di rifrazione **n** della costanza, di cui la lastra stessa è costituita.

Nota: lo spostamento parallelo **p** può essere determinato con il calcolo trigonometrico, se si conosce il valore di **d**, **n** e \hat{i} , mediante la relazione:

$$p = d \operatorname{sen} \hat{i} \left(1 - \frac{\cos \hat{i}}{n^2 - \operatorname{sen}^2 \hat{i}} \right)$$

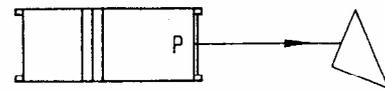
RIFRAZIONE DELLA LUCE CON IL PRISMA

O 3.6.

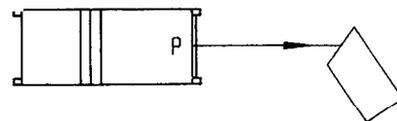
Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
401	Corpo ottico trapezoidale	1
501	Corpo ottico a prisma isoscele	1
701	Vaschetta rettangolare trasparente	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	
	Acqua	

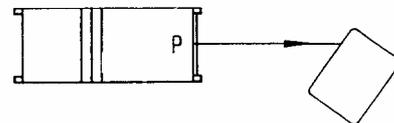
1



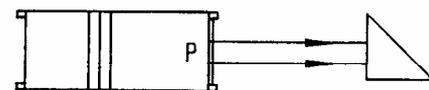
2



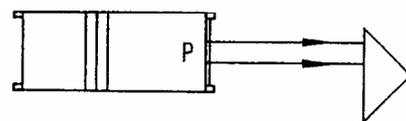
3



4



5



Se un fascio di luce, propagandosi in un mezzo isotropo trasparente, attraversa un altro mezzo isotropo e trasparente, ma di diversa densità ottica, il fascio subisce due successive rifrazioni. Nell'esperimento O 3.5. è stato studiato l'effetto rifrangente di un mezzo con superfici di separazione piane e parallele, nella presente prova si esaminerà il fenomeno, più generale, prodotto da un mezzo con superfici piane formanti un angolo diedro acuto.

L'esame, interessante anche se qualitativo, sarà completato dall'esperimento di misura O 3.6.1.

Montaggio: tracciare al centro di un foglio di carta bianca una retta parallela ai lati maggiori del foglio; appoggiare su di essa il proiettore con l'apertura rettangolare schermata dal diaframma con 1 fenditura e quella circolare chiusa dallo schermetto nero.

Seguendo le illustrazioni 1. – 2. – 3., disporre in successione, di fronte al proiettore ed a cm 10 di distanza, il prisma di plexiglass, il corpo trapezoidale di plexiglass e la vaschetta rettangolare piena di acqua.

Accendere il proiettore diottico, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a.

Esperimento 1: regolare la posizione del proiettore in modo da far coincidere il fascio luminoso con la retta tracciata. Osservare che il fascio luminoso, dopo aver attraversato il prisma (angolo di 45°), emerge deviato di un angolo α rispetto alla direzione del fascio incidente. Ruotare lentamente il prisma fino alla posizione in cui δ è minimo, ed osservare che in questa condizione il punto di incidenza ed il punto di uscita del fascio sono simmetrici rispetto al vertice dell'angolo α di apertura del prisma. Segnare il punto di uscita e la direzione del fascio deviato, poi misurare l'angolo di deviazione: $\delta = \dots$.

Esperimento 2: ripetere la prova, con lo stesso procedimento, usando l'angolo acuto ($\alpha = 70^\circ$) del corpo trapezoidale. In questo caso $\delta = \dots$.

Esperimento 3: ripetere la prova con lo stesso procedimento, usando uno dei due angoli retti ($\alpha = 90^\circ$) del corpo trapezoidale. Cosa si osserva?

Esperimento 4: ripetere la prova con lo stesso procedimento, usando un angolo retto ($\alpha = 90^\circ$) della vaschetta piena d'acqua. In questo caso $\delta = \dots$.

Esperimento 5: la particolare forma geometrica del prisma di plexiglass (prisma avente per base un triangolo rettangolo isoscele) consente di spiegare la **riflessione totale** (fenomeno sfruttato negli strumenti ottici).

Le figure 4 e 5 mostrano il funzionamento del prisma di Amici e del prisma di Porro.

Conclusioni: un fascio luminoso, nell'attraversare un mezzo con superfici di separazione formanti un angolo subisce due rifrazioni ed emerge dal mezzo deviato rispetto alla direzione originaria. L'angolo di deviazione δ dipende dall'angolo diedro α fra le due superfici di separazione (confrontare i risultati degli esperimenti 1 e 2), dall'angolo \hat{i} di incidenza (esperimenti 1,2 e 4) e dall'indice di rifrazione del mezzo attraversato relativo all'aria.

Ricordando il significato di angolo limite (esperimento O 3.4.) è facile spiegare il funzionamento dei prismi a riflessione totale: infatti il raggio incidente, che penetra nel prisma ortogonalmente a un cateto (prisma di Amici) o all'ipotenusa (prisma di porro) incide sulla superficie di separazione plexiglass-aria con un angolo di 45° , mentre per il plexiglass l'angolo limite è di 42° ; esso, pertanto, viene totalmente riflesso.

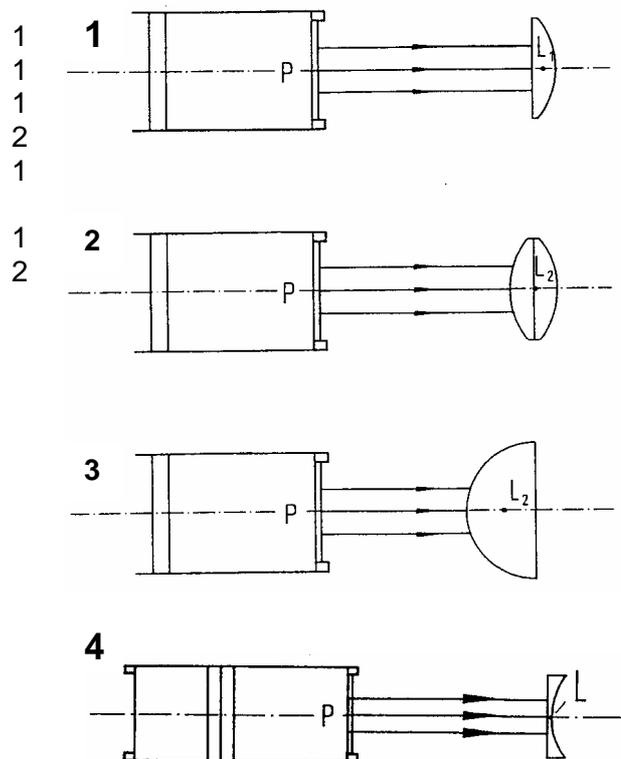
LE LENTI

O 4.1.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
601	Corpo ottico semicircolare	1
801	Corpo ottico piano e convesso	2
901	Corpo ottico piano e concavo	1

Alimentatore 12 V
Fili di collegamento
Foglio di carta bianca
Righello – Matita



Fra i sistemi ottici rifrangenti (sistemi diottici) le lenti occupano un posto di primario interesse teorico e pratico; esse sono costituite da sostanze isotrope trasparenti (normalmente vetro ma anche plexiglass, ecc...) limitate da due superfici, una almeno delle quali non deve essere piana.

Il tipo di lente più diffuso è la lente sferica (sistema diottico con superfici di separazione costituite da una o due calotte sferiche), tuttavia per impieghi particolari vengono prodotte anche lenti cilindriche e paraboliche.

Le lenti sferiche possono essere **convergenti** (lenti biconvesse e piano-convesse) o **divergenti** (lenti biconcave e piano-concave).

Scopo dell'esperimento è definire gli elementi delle lenti sferiche e studiarne le proprietà.

Montaggio: secondo l'illustrazione tracciare su un foglio di carta bianca quattro rette parallele (le rette tratteggiate), al centro di ciascuna delle quali dovrà essere sistemato il corpo ottico rappresentante la sezione longitudinale di una lente sferica. A circa cm 10 di distanza dovrà essere appoggiato il proiettore con l'apertura rettangolare rivolta al corpo ottico e schermata dal diaframma con tre fenditure; l'apertura circolare deve essere chiusa con lo schermetto nero. Accendere il proiettore, alimentandolo in corrente alternata o continua a 12 V. In ogni prova il proiettore dovrà essere regolato in modo che il raggio centrale coincida con la retta ed incida perpendicolarmente ad entrambe le superfici di separazione: in tale posizione i vertici delle due facce ed i centri di curvatura si trovano sulla stessa retta (asse ottico principale) e, come è facile verificare sperimentalmente, sulla stessa retta giaceranno anche i due fuochi F ed F_1 .

Il punto centrale del segmento $F-F_1$ è detto centro ottico O del sistema e la distanza $O-F = O-F_1$ è detta distanza focale f .

Esperimento 1: disegnare il contorno del corpo ottico piano-convesso e segnare il punto di convergenza dei raggi esterni (fuoco F); spostare il proiettore dalla parte opposta del corpo ottico,

badando a riprodurre con esattezza gli allineamenti e a non variare la posizione del corpo ottico, quindi segnare il punto focale **F1**. Misurare la distanza **F-F₁**, calcolare f ed infine segnare il centro ottico **O**. Rimettere il corpo ottico nella sagoma disegnata ed osservare in quale posizione si trova il punto **O**.

Esperimento 2: realizzare la lente biconvessa, accostando due corpi ottici piano-convessi, disegnare il contorno della lente e ripetere la prova con lo stesso procedimento su indicato.

Esperimento 3: ripetere la prova con lo stesso procedimento, usando il corpo ottico semicircolare.

Esperimento 4: ripetere la prova con lo stesso procedimento, usando il corpo ottico piano-concavo (lente divergente). In questo caso, poiché i raggi divergono, occorrerà segnarli con dei punti in modo da costruire i fuochi virtuali (punti di intersezione dei prolungamenti delle rette passanti per i punti indicati) e misurare la distanza che li separa. Calcolare f e segnare il centro ottico **O**.

Conclusioni: un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse ottico principale di una lente convergente viene rifratto ed i raggi emergenti convergono nel fuoco (reale). La distanza focale f è tanto più piccola quanto più spessa è la lente (cioè, a parità di apertura, quanto minore è il raggio di curvatura).

La lente biconvessa, derivante dall'accoppiamento di due lenti piano-convexe uguali, ha distanza focale f pari alla metà della distanza focale di una sola lente piano-convessa.

Un fascio di raggi luminosi incidenti su una lente divergente con direzione parallela all'asse principale, emergono divergenti dalla stessa; i fuochi sono virtuali e la distanza focale f è negativa.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
801	Corpo ottico piano e convesso	2
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	

si consideri, come in figura, un punto oggetto **A** situato sull'asse ottico principale di una lente biconvessa e, di tutti i raggi uscenti da questo punto se ne osservino solo due: il raggio coincidente con l'asse ottico che, incidendo in direzione normale ai vertici **M** ed **N** dei due diottri, prosegue nella stessa direzione ed il raggio **AI** inclinato di un angolo relativamente piccolo rispetto all'asse ottico. Questo secondo raggio, dopo aver subito due rifrazioni, emerge dalla lente deviato in modo tale da intercettare l'asse ottico nel punto **A'**, il quale risulta l'immagine reale di **A**.

Posto $AM=p$ e $A'M=q$, scopo dell'esperimento è trovare una relazione che consenta di individuare, dalla conoscenza degli elementi della lente, la posizione di **A'**, se è nota quella di **A**, e viceversa.

Montaggio: tracciare al centro di un foglio di carta bianca due rette ortogonali in modo da materializzare, con la retta parallela ai lati maggiori del foglio, l'asse ottico principale della lente biconvessa e con l'altro la linea di giunzione dei due corpi ottici piano-convessi.

A destra della lente, di fronte ad essa ed a circa cm 15 di distanza, disporre il proiettore con l'apertura rettangolare schermata dal diaframma con 3 fenditure e con quella circolare chiusa dallo schermetto nero.

Accendere il proiettore, alimentandolo in corrente alternata o continua a 12 V.

Esperimento: allineare il proiettore con l'asse ottico principale della lente in modo che il raggio centrale coincida esattamente con esso prima e dopo la lente e segnare il punto di convergenza (fuoco **F**) dei raggi rifratti (il punto deve trovarsi esattamente sull'asse ottico). Segnare **F**, poi spostare il proiettore a sinistra delle lente onde ottenere **F'**; a questo punto, badando di non spostare la lente, tracciarne i contorni con una matita.

Sostituire il diaframma a 3 fenditure con quello ad 1 poi segnare sull'asse ottico tre o quattro punti-oggetto (**A**, **B**, **C**, **D** ...), attraverso i quali si dovrà far passare il fascio luminoso per ottenere i corrispondenti punti-immagine (**A'**, **B'**, **C'**, **D'** ...). Regolare la posizione del proiettore in modo che il fascio luminoso passante per **A** incida sulla lente a circa cm 1 di distanza da **M**; segnare questo punto di incidenza, poiché su di esso si dovrà inviare il fascio luminoso proveniente dai successivi

punti **B, C, D,** , quindi segnare ed indicare con **A'** il punto-immagine, che il raggio emergente dalla lente individua sull'asse ottico.

Ripetere la prova con gli altri punti, quindi spegnere il proiettore, smontare l'apparecchiatura e procedere alle misurazioni e calcoli richiesti dalla tabella sottoriportata:

Punto oggetto	Distanza p da M	$\frac{1}{p}$	Punto immagine	Distanza q da N	$\frac{1}{q}$	Lente Biconvessa	
						f = FO = FO'	1/f
A	A'	.....	.....	.....	.....
B	B'	.....	.....	.....	.....
C	C'	.....	.....	.....	.....
D	D'	.....	.....	.....	.....

Conclusioni: per ciascuna coppia di punti coniugati (**AA'**, **BB'**, **CC'**, ...) i valori riportati nelle colonne $\frac{1}{p}$ e $\frac{1}{q}$ possono essere posti in relazione con l'elemento $\frac{1}{f}$ della lente biconvessa attraverso la formula:

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

Il confronto è valido entro un certo margine di errore causato dal fatto che la lente usata è molto spessa rispetto al raggio di curvatura.

La formula dei punti coniugati è valida sia per le lenti convergenti che divergenti, purché sottili, tenendo presente le osservazioni che seguono:

- Nelle lenti divergenti, essendo i fuochi virtuali, è **f < 0**.
- L'immagine è reale (**q > 0**), se si forma, rispetto alla lente, dalla parte opposta dell'oggetto.
- L'immagine è virtuale (**q < 0**), se si forma, rispetto alla lente, dalla stessa parte dell'oggetto.

IMMAGINE DI UN CORPO ESTESO PRODOTTA DA UNALENTE

O 4.3.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
801	Corpo ottico piano e convesso	2
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	

La formula dei punti coniugati consente di individuare la posizione dell'immagine, quando si conosce la posizione dell'oggetto rispetto ad una lente di distanza focale nota, ma non fornisce indicazioni sull'immagine stessa, se l'oggetto, anziché puntiforme, è un corpo esteso.

Scopo dell'esperimento è illustrare il metodo grafico di costruzione delle immagini prodotte dalle lenti, con il quale è possibile spiegare quanto si osserva nella realtà (esperimento O. 4.4., O. 4.5.).

Montaggio: l'esperimento si articola su 6 prove, a ciascuna delle quali corrisponde un disegno, pertanto occorre provvedere altrettanti fogli di carta oppure un foglio solo di dimensioni adeguate. Per ogni prova occorre tracciare una retta, che materializzi l'asse ottico principale della lente ed una retta ortogonale, il cui punto di intersezione rappresenterà il centro ottico **O** del sistema. Disporre le due sezioni di lente piano-convessa nell'esatta posizione poi, seguendo il procedimento indicato nei precedenti esperimenti, costruire i due fuochi **F** ed **F'**, mediante il proiettore munito del diaframma con 3 fenditure. Tracciare i contorni della lente e segnare sull'asse ottico principale (sul quale devono giacere **O**, **F** ed **F'**) i due punti **C = 2f** e **C' = 2f** (ricordare che, essendo la lente biconvessa simmetrica, $f = FO = F'O$).

Sostituire il diaframma a 3 fenditure con quello ad 1 fenditura. L'oggetto materializzato dalla freccia **AB**, dovrà essere disegnato alla distanza $p = AO$, richiesta dalla sotto riportata tabella. Quindi, secondo l'illustrazione, far passare attraverso l'estremo **B** dell'oggetto due raggi: uno parallelo all'asse ottico principale ed uno inclinato, passante per il centro ottico **O**.

Il primo raggio, rifratto dalla lente, viene deviato e passa per **F'**, il secondo raggio, passando per **O**, rappresenta una degli infiniti assi ottici secondari e, pertanto, prosegue in linea retta e va ad intersecare il primo raggio nel punto **B'** (immagine di **B**); tracciare la perpendicolare da **B'** all'asse ottico principale in modo da individuare il punto **A'** (coniugato di **A**). La freccia **A'B'** costituisce l'immagine estesa del corpo esteso **AB**.

Esperimenti: con il procedimento generale su indicato riprodurre le situazioni richieste dalla tabella onde completare le colonne come nell'esempio:

Lente sferica	Posizione p dell' oggetto	Posizione q dell' immagine	Caratteristiche dell'immagine
f > 0	p = +∞ + ∞ > p > 2f p = 2f 2f > p > f p = f f > p > 0	q = f	reale, capovolta, rimpicciolita
Divergente f < 0	0 ≤ p ≤ +∞		

Nei casi di raggi divergenti per costruire l'immagine si dovrà far uso del prolungamento dei medesimi dallo stesso lato dell'oggetto rispetto alla lente: pertanto l'immagine **A'B'** di **AB** sarà virtuale.

Conclusioni: il metodo grafico è una via semplice e rapida per studiare un sistema ottico; le informazioni sull'immagine possono essere completate osservando che, se si misura la lunghezza delle frecce **A'B'** e **AB** e la loro distanza **q** e **p**, dal vertice delle rispettive calotte sferiche, si ottiene:

$$A' B' : A B = q : p$$

ABERRAZIONI DELLE LENTI

O 4.6.

Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena 12V/20W	1
201	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
301	Diaframma con 3 e 5 fenditure	1
801	Corpo ottico convesso	2
1201	1 Schermo bianco	1
102	4 Cavaliere per banco ottico	1
202	1 Cavaliere con fenditura	1
302	2 Cavaliere con foro	1
402	1 Lente f + 50mm con supporto	1
602	4 Porta-lente	1
702	1 Lente f +100mm con montatura	1
2702	1 Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	1 Elemento di congiunzione	1
2902	1 Astina con estremità filettata - cm 10	1

Alimentatore 12 V	1
Fili di collegamento	2
Foglio di carta bianca	
Matita – Righello	
Fiammiferi	

Nelle sperimentazioni precedenti si è avuto occasione di dire che i risultati ottenuti erano validi entro i limiti di approssimazione consentiti dal sistema ottico usato. Per operare in accordo con la teoria le lenti dovrebbero essere molto sottili in rapporto al diametro, i raggi luminosi dovrebbero giungere sulle lenti poco inclinati rispetto all'asse ottico principale ed infine la luce dovrebbe essere monocromatica. Poiché è difficile che queste condizioni si verifichino nella realtà, tutti i sistemi ottici rifrangenti presentano dei difetti, che in termini tecnici sono detti **aberrazioni**.

Scopo dell'esperimento è esaminare le principali aberrazioni delle lenti.

Montaggio: l'esperimento si articola su tre prove: le prime due vengono effettuate su un foglio di carta bianca, appoggiato sul tavolo, usando l'apertura rettangolare del proiettore schermata dai diaframmi con fenditure e come lente convergente l'abbinamento dei due corpi ottici piano-convessi; la terza prova è condotta sul banco ottico, usando l'apertura circolare del proiettore, le lenti convergenti con $f = + 50 \text{ mm}$ e $f = + 100 \text{ mm}$ e lo schermo.

Esperimento 1: tracciare due rette ortogonali al centro del foglio di carta, quindi allineare il raggio centrale prodotto dal diaframma con 3 fenditure sulla linea orizzontale e disporre i due corpi piano-convessi in corrispondenza della retta verticale con il punto di intersezione al centro del sistema. Disegnare il contorno della lente e segnare il punto F sull'asse ottico. Mantenendo invariata la posizione della lente e del proiettore, sostituire il diaframma con 3 fenditure con quello a 2 fenditure; segnare il punto focale F' . Infine sostituire questo diaframma con quello a 5 fenditure e notare la posizione, corrispondente ai raggi esterni, del fuoco F'' . Questa **aberrazione**, detta **di sfericità**, produce la zona **caustica di rifrazione**, nella quale si trovano i punti focali. Se si sposta il proiettore in modo da far incidere i 5 raggi luminosi in direzione inclinata sulla lente, la zona caustica diventa più complessa e prende il nome di **coma**.

Esperimento 2: esecuzione analoga alla prima parte dell'esperimento 1. Segnare il punto focale F mediante 3 raggi luminosi, sostituire il diaframma a 3 fenditure con quello ad 1 fenditura, poi spostare il proiettore, mantenendo il raggio luminoso parallelo all'asse ottico principale del sistema fino a far incidere il raggio quasi al bordo superiore della lente. Si noterà che il raggio rifratto devia sempre di più verso l'asse ottico e che da un certo punto in avanti il raggio appare scomposto in diversi colori. Questo difetto, detto **aberrazione cromatica**, produce gli aloni colorati, spesso visibili nelle proiezioni.

Esperimento 3: disporre un bastoncino di legno (ad es., un fiammifero) fra le guide anteriori del proiettore in modo che sia al centro dell'apertura circolare. Disporre la lente $f = + 100 \text{ mm}$ a circa cm 25 dal proiettore e lo schermo a circa cm 50 dalla lente; regolare la posizione di quest'ultimo fino ad avere un'immagine nitida del bastoncino. Si noterà nitida al centro, e leggermente sfocata ai bordi. Ripetere la prova con la lente $f = + 50 \text{ mm}$, regolando di conseguenza le posizioni. Questa aberrazione è detta **curvatura di campo**.

Conclusioni: quando il fascio luminoso incidente su una lente biconvessa non sottile è molto aperto, l'aberrazione di sfericità diviene evidente e più ancora se il fascio luminoso è inclinato. L'aberrazione cromatica è simile all'aberrazione di sfericità, ma le distanze focali diverse (una per ciascuna componente monocromatica della luce bianca) sono causate dall'indice di rifrazione del vetro, diverso per ogni colore. La curvatura di campo è causata dal fatto che i bordi di una lente non riescono a riprodurre un oggetto esteso su un piano, i cui punti siano molto lontani dall'asse ottico.