

# SISTEMA

OTTICA 2

NTP9900-4K

MODULARE



## OTTICA 2

## NTP9160-6G

---

<b>102</b>	4	Cavaliere per banco ottico
<b>202</b>	1	Cavaliere con fenditura
<b>302</b>	2	Cavaliere con foro
<b>402</b>	1	Lente f + 50mm con supporto
<b>502</b>	1	Lente f -100mm con supporto
<b>602</b>	4	Porta-lente
<b>702</b>	1	Lente f +100mm con montatura
<b>802</b>	1	Lente f +300mm con montatura
<b>902</b>	1	Specchio concavo con montatura
<b>1002</b>	1	Specchio convesso con montatura
<b>1102</b>	1	Serie di diaframmi con foro
<b>1202</b>	1	Diaframma ad L
<b>1302</b>	1	Diapositiva
<b>1402</b>	1	Reticolo di diffrazione 300 linee/mm
<b>1502</b>	1	Diaframma con fenditura
<b>1602</b>	1	Sfera bianca su asta - sistema Terra-Luna
<b>1702</b>	1	Schermo trasparente con montatura
<b>1802</b>	3	Proiettore cilindrico con lampada 12V
<b>1902</b>	1	Serie di filtri colorato rosso, verde e bleu
<b>2002</b>	1	Serie di filtri colorati per miscugli sottrattivi
<b>2102</b>	1	Diaframma a disco con montatura
<b>2202</b>	1	Preparato di polarizzazione cristallo di quarzo
<b>2302</b>	1	Vaschetta trasparente
<b>2402</b>	1	Serie di corpi fotoelastici
<b>2502</b>	2	Supporto per filtri di polarizzazione
<b>2602</b>	2	Filtri di polarizzazione
<b>2702</b>	1	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50
<b>2802</b>	1	Elemento di congiunzione
<b>2902</b>	1	Astina con estremità filettata - cm 10
<b>3002</b>	2	Porta-diapositive
<b>3102</b>	1	Diaframma con foro diametro mm 20
<b>3202</b>	1	Tavolino porta-prisma
<b>3302</b>	1	Prisma equilatero

## OTTICA 2 Ottica Fisica

### NTP9160-6G

#### Elenco delle esperienze

##### 0 1- Propagazione della luce

- 0 1.2. Illuminamento di una superficie
- 0 1.3. Intensità di emissione luminosa
- 0.1.5. Ombra e penombra
- 0.1.6. Eclissi e fasi lunari
- 0.1.7. Il fotometro ad ombra

##### 0 2 - Riflessione

- 02.2.1 Specchio concavo: relazione oggetto - immagine
- 0 2.3.1. Specchio convesso: relazione oggetto - immagine

##### 0 3 - Rifrazione

- 0.3.6.1. L'angolo di deviazione prismatica

##### 0 4 - Lenti ottiche

- 0 4.4. Le lenti convergenti
- 0 4.5. Le lenti divergenti
- 0 4.7. Aberrazioni delle lenti convergenti
- 0 4.8. L'occhio
- 0 4.9. Correzione dei difetti della vista

##### 0 5 - Dispersione della luce

- 0 5.1. Scomposizione e ricomposizione della luce
- 0 5.2. Miscuglio additivo di colori
- 0 5.3. Miscuglio sottrattivo di colori
- 0 5.4. Il colore dei corpi
- 0 5.5. Energia luminosa ed energia termica

##### 0 6 - Polarizzazione

- 0 6.1. Polarizzazione della luce
- 0 6.2. Angolo di Brewster
- 0 6.3. Rotazione del piano di polarizzazione
- 0 6.4. Il saccarimetro
- 0 6.5. La birifrangenza meccanica

##### 0 7 - Diffrazione - Interferenza

- 0 7.1. Diffrazione della luce con i reticoli
- 0 7.2. Misura della lunghezza d'onda con il reticolo

**Elementi occorrenti:**

<b>101</b>	Proiettore diottico con lampada alogena	1
<b>1201</b>	Schermo	1
<b>202</b>	Cavaliere con fenditura e foro	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro	2
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
<b>2802</b>	Elemento di congiunzione per detti	1
<b>2902</b>	Astina con estremità filettata, cm 10	1
	Alimentatore 12 V per il proiettore	
	Fili di collegamento	2
	Compasso	

Si consideri il fascio luminoso emergente dal foro circolare del proiettore: esso ha la forma di un cono con vertice nella sorgente luminosa e direttrice nella circonferenza del foro. La quantità di energia luminosa, convogliata dal cono, che attraversa la superficie **S** del foro nell'unità di tempo **t**, costituisce il **flusso luminoso I**; se l'energia convogliata dal cono è costante, è costante anche il flusso luminoso.

Quando il cono di luce viene tagliato da uno schermo, disposto ortogonalmente al suo asse, ne illumina una zona circolare, la cui area aumenta, se si allontana lo schermo.

Scopo dell'esperimento è studiare la relazione intercorrente tra l'area **A** della superficie illuminata e la distanza **R** di questa dalla sorgente luminosa.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Disporre il proiettore all'estremità sinistra del banco ottico, posizionandolo in modo che la linea verticale, materializzata dalla coppia di boccole e corrispondente alla posizione del filamento della lampada, sia esattamente sullo 0 della graduazione del banco stesso: in tal modo si potrà misurare direttamente con facilità la distanza **R** dello schermo dalla sorgente luminosa.

**Esperimento:** misurare il raggio **r** del foro e la sua distanza **R** dalla lampada poi, usando il cavaliere con fenditura, montare lo schermo a **R = 12 cm** e misurare il raggio **r** del disco illuminato; successivamente allontanare lo schermo a **R = 18 cm**, quindi a **24 cm**, ecc. fino alla distanza massima consentita dallo schermo stesso, misurando ogni volta anche il raggio del disco illuminato.

Riportare i valori delle misurazioni in una tabella insieme alle osservazioni sull'area illuminata, infine eseguire i calcoli indicati:

Distanza <b>R'</b> in cm	<b>R</b> <sup>2</sup> in cm <sup>2</sup>	Raggio <b>r</b> in cm	Area <b>A</b> in cm <sup>2</sup>	$\frac{A}{R^2}$	Osservazioni sull'area illuminata
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....

**Conclusioni:** la costanza del rapporto  $\frac{A}{R^2}$  indica che l'area della superficie illuminata è proporzionale al quadrato della sua distanza dalla sorgente luminosa: così, ad esempio, se si raddoppia **R**, l'area **A** diventa quadrupla.

Il rapporto  $\frac{A}{R^2}$  è una grandezza detta angolo solido  $\Omega$ .

L'osservazione che la superficie investita dalla luce appare meno illuminata, man mano che aumenta la distanza dello schermo dalla lampada, è una conseguenza diretta della precedente conclusione; infatti, essendo rimasto costante nelle varie prove il flusso luminoso, la stessa quantità di luce si è distribuita su superfici via via più estese con il risultato che l'**illuminamento**, cioè il rapporto fra il flusso luminoso incidente e l'area della superficie colpita, è rapidamente diminuito (restando all'esempio precedente se si raddoppia **R**, l'illuminamento si riduce a  $\frac{1}{4}$ ).

**Note:** si può provare che, pur mantenendo invariata la distanza dello schermo dalla lampada, la superficie illuminata aumenta, se si inclina progressivamente lo schermo rispetto all'asse del cono luminoso.

L'esperimento dimostra quanto accade in natura durante la stagione invernale allorché la radiazione solare, incidendo sulla superficie terrestre molto inclinata, produce un illuminamento inferiore a quello estivo e, quindi, un minore riscaldamento della stessa.

L'angolo solido  $\Omega = \frac{A}{R^2}$  è misurato in **steradiani**, unità che si ottiene ponendo **A = R<sup>2</sup>**;

in altri termini, se si considera la sorgente al centro di una sfera di raggio **R**, l'angolo solido, che intercetta una calotta sferica di area uguale al quadrato del raggio vale 1 **steradiante**.

**Elementi occorrenti:**

<b>101</b>	Proiettore diottico con lampada alogena	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	3
<b>602</b>	Portadiaframmi	2
<b>802</b>	Proiettore cilindrico con lampada 12 V	1
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
<b>2802</b>	Elemento di congiunzione per banco ottico	1
<b>2902</b>	Astina cm 10, per proiettore diottrico	1
<b>3002</b>	Portadiapositive da inserire sul portadiaframmi	1

Alimentatore 12 V con fili di collegamento  
 Foglio di carta, forbici  
 Candela di stearina, fiammiferi

Una sorgente luminosa risulta oggettivamente definita, quando si conosce la quantità di luce, che essa emette nella direzione considerata: questa grandezza è detta intensità di emissione luminosa o, semplicemente, **intensità luminosa**.

Supponendo che l'intensità luminosa sia la stessa in tutte le direzioni, il flusso convogliato entro un certo angolo solido può aumentare o diminuire soltanto se aumenta o se diminuisce l'intensità di emissione della sorgente, mentre, se resta costante quest'ultima, il flusso aumenta o diminuisce con l'aumentare o il diminuire dell'angolo solido:

$$\varphi = I_x \Omega = I_x \frac{A}{R^2}$$

L'illuminamento di una superficie, ortogonale all'asse del cono luminoso avente area **A** risulta:

$$Y = I_x \frac{A}{R^2} \times \frac{1}{A} = \frac{I}{R^2}$$

L'intensità luminosa incognita di una sorgente può essere misurata tramite i fotometri a confronto (ad esempio il modello di Bunsen).

Scopo dell'esperimento è studiare il procedimento di misurazione, che si basa sulla predetta relazione.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura come appare nell'illustrazione.

Di fronte al proiettore, montato sul banco ottico in modo che la linea verticale materializzata dalla coppia di boccole e corrispondente alla posizione del filamento della lampada, sia esattamente sullo 0 della graduazione del banco stesso, disporre a cm 50 un cavaliere munito del dispositivo porta-diapositive e a cm 70 il proiettore cilindrico. Da un foglio di carta bianca ritagliare un quadratino di cm 5 x 5, nel cui centro si dovrà lasciar cadere, da una candela accesa, una goccia di stearina di alcuni millimetri di diametro (4-6). Attendere che la stearina, raffreddandosi, solidifichi completamente, poi far saltare via la goccia in modo da ottenere una macchia grassa circolare. Montare il quadratino di carta nel porta-diapositive e controllare che questo sia ortogonale agli assi allineati dei due proiettori.

**Esperimento:** accendere il primo proiettore ed osservare che la macchia appare scura, se guardata da sinistra (cioè dalla stessa parte della sorgente luminosa), mentre appare trasparente, se guardata dalla parte opposta (cioè da destra).

Spegnere questo proiettore ed accendere il secondo: notare che il fenomeno si ripete in maniera opposta in quanto il secondo proiettore illumina l'altra faccia del foglio di carta. Si supponga che l'intensità luminosa  $I$  della sorgente di sinistra sia nota e che si voglia determinare l'intensità di emissione sconosciuta  $I_x$  della sorgente di destra. Accendere entrambi i proiettori e, in base alle osservazioni precedenti, spostare lungo il banco ottico il supporto con il foglio di carta fino alla completa scomparsa della macchia grassa: in tale posizione le due sorgenti producono lo stesso illuminamento:  $Y = Y_x$  per cui, rilevate le distanze  $R_1$  ed  $R_2$  delle due sorgenti dallo schermo di carta, si ottiene:

$$\frac{I}{R^2} = \frac{I_x}{R^2} \quad \text{e quindi} \quad I_x = I \frac{R^2}{R^2}$$

**Conclusioni:** poiché non è dato il valore dell'intensità di emissione luminosa della sorgente di sinistra, in realtà non si può calcolare  $I_x$ ; la relazione consente, tuttavia, di verificare quante volte la lampada di destra è meno luminosa di quella di sinistra.

**Nota:** nel sistema SI l'intensità luminosa è una grandezza fondamentale, la cui **unità di misura** è la **candela** (simbolo **cd**); da essa vengono ricavate le unità derivate:

**flusso luminoso** : **lumen** = candela x steradiante (misura dell'angolo solido)

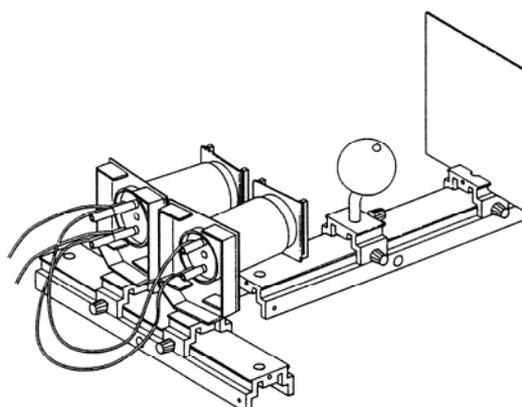
**illuminamento** : **lux** =  $\frac{\text{candela x steradiante}}{\text{metro quadrato}}$

## OMBRA E PENOMBRA

## O 1.5.

## Elementi occorrenti:

<b>1S</b>	Base cm 30	2
<b>1201</b>	Schermo bianco	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	2
<b>202</b>	Cavaliere con fenditura per schermo	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro e vite di fissaggio	1
<b>602</b>	Porta-diaframmi	2
<b>1602</b>	Sfera bianca su asta	1
<b>1802</b>	Proiettore cilindrico con lampada 12 V	2
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	



Se si pone un corpo opaco sul percorso dei raggi emessi da una sorgente luminosa, si ottiene dietro al corpo un'ombra ben delineata, la cui formazione è spiegabile mediante l'ipotesi della propagazione rettilinea della luce.

Con questo esperimento si intende studiare la differenza fra sorgente luminosa puntiforme e sorgente luminosa estesa, nonché approfondire il concetto di ombra e penombra.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

I due proiettori cilindrici completi di lampadina, devono essere montati sui rispettivi porta-diaframmi, i quali, a loro volta, devono essere innestati nei due cavalieri del profilato fungente da base; la distanza fra i due proiettori va regolata a cm 15 l'uno dall'altro.

Disporre la seconda base perpendicolarmente alla prima (fra i due proiettori) ed all'estremità di essa, usando l'apposito cavaliere con fenditura, montare lo schermo; a cm 30 dallo schermo sorreggere con un secondo cavaliere la sfera bianca. Osservare che lo schermo disti cm 50 dai proiettori.

**Esperimento:** illuminare la sfera con i due proiettori, quindi regolare l'angolazione di entrambi in modo da ottenere sullo schermo due ombre distinte lontane circa cm 1 l'una dall'altra. Oscurare alternativamente con una mano una delle due sorgenti luminose onde identificare l'ombra prodotta. Disegnare in scala su un foglio di carta il montaggio, schematizzato e visto dall'altro, indicando le posizioni della sorgente luminosa estesa, della sfera e dello schermo con le rispettive distanze; annotare anche le osservazioni.

Avvicinare la sfera fino a cm 10 dallo schermo: l'immagine che si ottiene in questa posizione è di ombra centrale e di penombra ai lati.

Oscurare di nuovo con una mano una sorgente per volta ed osservare l'ombra prodotta da ciascuna. Da che cosa deriva la penombra?

Schematizzare in un altro disegno la situazione sperimentale e studiare se esiste una posizione della sfera, dello schermo e della sorgente estesa, per la quale non si ha l'ombra della sfera stessa. Spiegarne il motivo.

**Conclusioni:** quando si illumina un corpo con una sorgente puntiforme ( o con una sorgente di dimensioni inferiori al corpo), nello spazio retrostante si osserva una zona d'ombra piena. Se la sorgente è estesa al punto che le sue dimensioni sono superiori a quelle del corpo opaco illuminato, oppure se si usano due sorgenti luminose, orientate all'incirca nella stessa direzione,

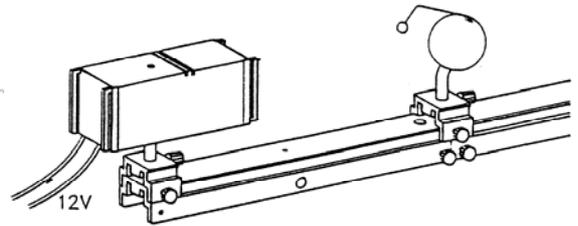
nello spazio dietro al corpo si osservano due zone distinte: un'ombra piena centrale ed una zona circostante di penombra. Le dimensioni della zona d'ombra piena sono sempre inferiori a quelle del corpo illuminato ed è determinante la distanza dello schermo dal corpo stesso.

## ECLISSI E FASI LUNARI

O 1.6.

### Elementi occorrenti:

<b>101</b>	Proiettore diottico con lampada alogena	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro e vite di fissaggio	2
<b>1602</b>	Sfera bianca su asta sistema Terra-Luna	1
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
<b>2802</b>	Elemento di congiunzione per detti	1
<b>2902</b>	Astina per proiettore diottico	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



La propagazione rettilinea della luce e la conseguente teoria delle ombre, trattate nei precedenti esperimenti spiegano il fenomeno astronomico delle eclissi. Scopo della presente prova è verificare come esse si verifichino e, successivamente, come si producono le fasi lunari in modo da evitare ogni confusione fra le due situazioni.

**Montaggio:** sistemare l'apparecchiatura come da illustrazione.

Il proiettore viene disposto, come di consueto, sul lato sinistro del banco ottico ed alimentato a 12 V (in c.c. o c.a. indifferentemente); la finestra rettangolare deve essere chiusa con lo schermetto nero. Montare il sistema Terra-Luna su un cavaliere fissato al banco a circa cm 20 dal foro circolare del proiettore di modo che il cono di luce lo illumini completamente e con sufficiente intensità.

**Esperimento 1:** regolare la posizione della Luna in modo che essa si trovi fra la sorgente luminosa (Sole) e la Terra ed allineata con entrambi (congiunzione). In tale situazione la Luna proietta un cono d'ombra sulla superficie terrestre e chiunque si trovi nella zona oscurata non può vedere il Sole: si verifica quindi un' eclissi di Sole.

Portare la luna dalla parte opposta alla Terra (opposizione) ed allinearla in modo che risulti oscurata dal cono d'ombra proiettato dalla Terra. Questa situazione esemplifica un'eclissi lunare.

Anche se appare ovvio dalla posizione dei tre corpi celesti nelle due prove, è bene osservare che le eclissi di Sole si verificano di giorno, mentre le eclissi di Luna si verificano di notte e che entrambe sono relative ad osservatori sulla superficie terrestre.

**Esperimento 2:** prima di riprodurre le posizioni del nostro satellite naturale nelle varie fasi occorre ricordare che esse si ripetono periodicamente ogni 28 giorni (periodo di rivoluzione della Luna attorno alla Terra). Regolare la posizione del sistema Terra-Luna in modo che quest'ultima sia fra la Terra ed il Sole e, quindi, non visibile nel corso della notte: durante questa fase, detta **Luna Nuova**, in virtù dell'inclinazione del piano dell'eclittica lunare rispetto al piano dell'eclittica terrestre, si possono verificare o no le eclissi di Sole. Ruotando il sistema in senso antiorario si attraversa la fase di **Luna crescente**, durante la quale è visibile la parte (via via più estesa) della Luna illuminata dal Sole. Si raggiunge quindi la **Luna piena** ed infine la **Luna calante**.

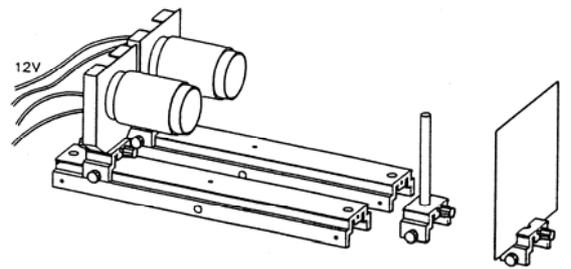
**Conclusioni:** la terra e la Luna sono corpi sferici opachi e soltanto metà della loro superficie (quella rivolta verso il Sole) può essere illuminata; di questa metà è visibile durante la notte della Terra la sola parte rivolta verso di essa ( fasi lunari ). Se Sole, Terra e Luna sono allineati in congiunzione si verificano le eclissi di Sole, se sono in opposizione si hanno le eclissi di Luna. Ad un osservatore posto in una determinata zona della Terra, le eclissi possono apparire **totali** o **parziali**, a seconda che il cono d'ombra oscuri totalmente o parzialmente il Sole o la Luna.

## IL FOTOMETRO AD OMBRA

O 1.7.

### Elementi occorrenti:

<b>1S</b>	Base cm 30	1
<b>1201</b>	Schermo bianco	1
<b>202</b>	Cavaliere con fenditura per schermo	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro e vite di fissaggio	3
<b>1802</b>	Proiettore cilindrico con lampada 12 V	2
<b>2902</b>	Astina cm 10	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	4
	Righello	



La propagazione rettilinea della luce e la conseguente teoria delle ombre suggeriscono un semplice metodo per misurare l'intensità di emissione luminosa incognita di una sorgente; il metodo consiste nel confrontare le due ombre di uno stesso oggetto opaco, proiettate distintamente su uno schermo bianco da due sorgenti di luce, una delle quali ha intensità luminosa nota, l'altra da determinare.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione

I due proiettori devono essere alimentati l'uno a 9 V (sorgente nota), l'altro con tensioni variabili (sorgente luminosa della quale si vuole misurare l'intensità di emissione); si possono usare anche altre sorgenti come una candela, una lampada ad alcool, ecc...) Le due basi da cm 30 in alluminio devono essere parallele e lontane cm 8 l'una dall'altra; a cm 5 dall'estremità dei due banchi ottici disporre il cavaliere con l'astina verticale e, a cm 10 da questo, il cavaliere con lo schermo: in tal modo i due proiettori risulteranno a circa cm 35 dall'astina.

**Esperimento 1:** alimentare un proiettore a 9 V fissi e l'altro con una tensione regolabile; operando su quest'ultima tensione, osservare quando le due ombre proiettate sullo schermo sono ugualmente oscure. In questa situazione leggere il valore della tensione. Oscurare alternativamente con una mano ciascun proiettore onde distinguere l'ombra prodotta. Ridurre a 7 V la tensione di alimentazione di un proiettore e notare a quale valore deve essere ridotta anche la tensione applicata all'altra sorgente per ottenere due ombre ugualmente oscure sullo schermo.

**Esperimento 2:** alimentare un proiettore a 9 V e l'altro a 8 V. Poiché le due ombre sullo schermo hanno diversa oscurità, per ottenere che esse siano ugualmente oscure, occorre avvicinare allo schermo la sorgente alimentata a tensione minore. Ottenuta la situazione richiesta, misurare la distanza di ciascuna ombra dalla sorgente luminosa che l'ha prodotta; in base alla legge delle distanze, dedotta con l'esperimento O 1.2., detta  $I_1$  l'intensità luminosa della sorgente nota (ad es. quella alimentata a 9 V) e  $d_1$  la distanza dell'ombra da essa prodotta,  $I_x$  l'intensità luminosa ignota della seconda sorgente e  $d_2$  la distanza dell'ombra prodotta da quest'ultima si ha:

$$I_1 : I_x = d_1^2 : d_2^2$$

e quindi

$$I_x = I_1 \times \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

Poiché il valore di tre grandezze è noto, si può ricavare il quarto.

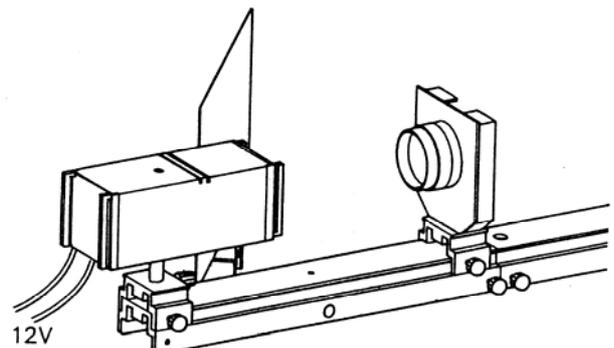
**Conclusioni:** quando due sorgenti, poste alla stessa distanza da uno schermo, producono ombre ugualmente oscure dello stesso oggetto, le loro intensità luminose sono uguali; se le intensità luminose sono diverse, per ottenere ombre ugualmente oscure le sorgenti luminose devono essere posizionate, rispetto allo schermo, in modo da rispettare la legge delle distanze.

## SPECCHIO CONCAVO : RELAZIONE OGGETTO – IMMAGINE

### O 2.2.1

#### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	1
202	Cavaliere con fenditura e foro	1
302	Cavaliere con foro	2
602	Porta-diaframmi	1
902	Specchio concavo con montatura	1
1202	Diframma ad L	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione per detti	1
2902	Astina con estremità filettata, cm 10	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – matita	



Per conoscere i caratteri dell'immagine fornita da uno specchio sferico concavo occorre determinarne la posizione e le dimensioni. Scopo dell'esperimento è studiare quale relazione lega gli elementi dello specchio con le posizioni e le dimensioni dell'oggetto e dell'immagine.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Il proiettore diottrico, munita dell'astina di supporto e del diaframma ad L, montato di fronte all'apertura circolare, viene disposto, tramite un cavaliere, all'estremità sinistra del banco ottico; l'apertura rettangolare viene oscurata con lo schermo nero. Di fronte al proiettore, a cm 15 di distanza, va montato lo specchio concavo, in posizione leggermente angolata onde riflettere i raggi luminosi in direzione dello schermo bianco, disposto a lato del proiettore e sorretto da un cavaliere con fenditura.

Accendere il proiettore, poi regolare la posizione dello schermo e l'angolazione dello specchio fino ad avere l'immagine della fenditura ad L a fuoco (cioè ben netta) ed al centro dello schermo stesso.

Come si presenta l'immagine: diritta o capovolta, più grande, uguale o più piccola dell'oggetto? Preparare una tabella, nella quale dovranno essere riportati i valori, rilevati dall'esperimento, della distanza  $p$  dell'oggetto dal centro  $O$  dello specchio, della distanza  $q$  dell'immagine dal centro  $O$

dello specchio, delle dimensioni (per semplicità, l'altezza) dell'oggetto, indicato con **L**, e dell'immagine (indicata con **H**) ed infine della distanza focale **f** dello specchio:

Distanza <b>p</b>	cm 15	cm 20	cm 30
Distanza <b>q</b>	.....	.....	.....
Altezza dell'oggetto <b>L</b>	cm .....	cm .....	cm .....
Altezza dell'immagine <b>H</b>	.....	.....	.....
Ingrandimento <b>I = H/L</b>	.....	.....	.....
Distanza focale <b>f</b>	cm .....	cm .....	cm .....

Eseguite le misurazioni suddette, avvicinare lentamente il proiettore con il diaframma a **L** (oggetto) allo specchio e notare che, ad una determinata distanza, sullo schermo non appare più alcuna immagine: misurare con precisione la distanza oggetto – specchio e ricordare dall'esperimento 0 2.2. che questa corrisponde sicuramente a **f** (distanza focale dello specchio).

Continuando ad avvicinare l'oggetto allo specchio, comparirà su quest'ultimo l'immagine virtuale (che non può essere raccolta sullo schermo) diritta od ingrandita dell'oggetto.

**Conclusioni:** se l'oggetto è molto lontano lo specchio concavo produce un'immagine reale e capovolta, la cui dimensione si riduce a un punto (il fuoco), quando l'oggetto è all'infinito; se l'oggetto è situato fra il centro ottico **C** dello specchio ed il fuoco, lo specchio produce immagini reali, capovolte ed ingrandite; quando l'oggetto è nel fuoco, i raggi sono paralleli e, pertanto, non danno luogo ad alcuna immagine; infine, quando l'oggetto è posto fra il fuoco ed il vertice **O** dello specchio, i raggi riflessi sono divergenti, ma i loro prolungamenti si incontrano al di là dello specchio dando luogo ad una immagine virtuale diritta ed ingrandita.

La relazione che lega **p**, **q** ed **f**, è la cosiddetta **Formola dei punti coniugati**:

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

L'ingrandimento lineare **I = H/L** può essere in relazione a **p** od a **f** dalla formula:

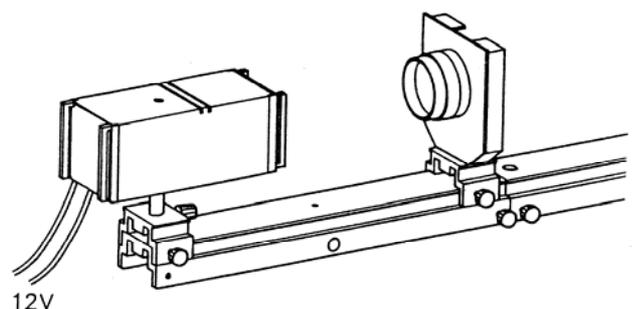
$$I = \frac{F}{p - f}$$

## SPECCHIO CONVESSO: RELAZIONE OGGETTO-IMMAGINE

O 2.3.1.

### Elementi occorrenti:

<b>101</b>	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	1
<b>303</b>	Cavaliere con foro	1
<b>602</b>	Porta-diaframmi	1
<b>1002</b>	Specchio convesso con montatura	1
<b>1202</b>	Diframma ad L	1
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
<b>2802</b>	Elemento di congiunzione per detti	1
<b>2902</b>	Astina con estremità filettata, cm 10	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



Conoscere i caratteri dell'immagine fornita dallo specchio sferico convesso è molto più semplice di quanto è stato fatto nell'esperimento O 2.2.1, poichè, essendo impossibile porre l'oggetto nel fuoco e nel centro di curvatura dello specchio convesso (questi punti, infatti, sono situati dietro la superficie riflettente), i casi si riducono ai soli che verranno ora esaminati.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Il proiettore diottrico, sorretto dall'astina di supporto e munito del diaframma a L disposto di fronte all'apertura circolare, viene montato, tramite un cavaliere, all'estemità sinistra del banco ottico; l'apertura rettangolare viene oscurata con lo schermetto nero. A cm 20 di distanza dal diaframma a L (oggetto) disporre lo specchio convesso; lo schermo per raccogliere l'immagine prodotta dallo specchio non serve in quanto, come è noto dall'esperimento O 2.3., l'immagine è virtuale e deve essere osservata sulla superficie riflettente.

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

Preparare una tabella, nella quale verranno riportate, per ogni distanza oggetto-specchio, le dimensioni (stimate ad occhio) dell'immagine osservata sullo specchio (per semplicità valutare, come nell'esperimento O 2.2.1, la sola altezza).

Distanza oggetto-specchio	cm 5	cm 10	cm 20
Dimensioni dell'immagine	.....	.....	.....

Allontanare il proiettore alla distanza massima realizzabile in laboratorio ed osservare l'immagine sullo specchio.

**Conclusioni:** qualunque sia la distanza, purché finita, dell'oggetto dal vertice dello specchio l'immagine risulta sempre virtuale, diritta, rimpicciolita: quanto più vicino è l'oggetto, tanto più grande è l'immagine.

Se l'oggetto è posto a distanza infinita (cioè se i raggi giungono paralleli sullo specchio), l'immagine si riduce ad un punto: il fuoco virtuale **F**, situato dietro lo specchio.

Le formule dei punti coniugati e dell'ingrandimento lineare, ricavate per gli specchi concavi, valgono anche per gli specchi convessi, ma con l'avvertenza che in questi ultimi la distanza focale **f** deve essere considerata negativa.

**Nota:** gli specchi convessi vengono usati negli incroci stradali, poichè per distanze finite, anche di una certa entità, l'immagine è sì rimpicciolita, ma il campo visivo è molto più grande.

## L'ANGOLO DI DEVIAZIONE PRISMATICA

O 3.6.1.

### Elementi occorrenti:

<b>101</b>	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
<b>201</b>	Diaframma con 1 e 2 fenditure	1
<b>501</b>	Corpo ottico a prisma isoscele	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Foglio di carta bianca	
	Righello – Matita	
	Matite colorate	

Un prisma ottico è un corpo costituito da una sostanza trasparente avente due facce piane, le quali formano un angolo diedro  $\delta$  detto angolo di rifrangenza. Se il prisma è immerso in un mezzo trasparente come l'aria, un fascio luminoso, incidente su una sua faccia secondo un angolo  $\hat{i}$ , viene rifratto due volte ed emerge dall'altra faccia deviato di un angolo  $\delta$ , detto **angolo di deviazione prismatica** o semplicemente angolo di deviazione; tale angolo, formato dal prolungamento del raggio incidente con il prolungamento del raggio emergente, dipende, come è stato dimostrato nell'esperimento O 3.6., dai valori dell'angolo diedro  $\alpha$ , dall'indice di rifrazione  $n$  della sostanza costituente il prisma e dall'angolo di incidenza  $\hat{i}$  del fascio luminoso.

Scopo del presente esperimento è cercare le relazioni matematiche che legano fra loro queste quattro grandezze di modo che, conoscendo tre di esse, si possa determinare la quarta.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Su un foglio di carta bianca, al centro del quale sono state tracciate due rette ortogonali, disporre il prisma come nella figura di modo che la retta orizzontale incontri l'ipotenusa del prisma a circa cm 1,5 dal vertice dell'angolo  $\alpha = 45^\circ$ . Disegnare i contorni del prisma in questa posizione, poi tracciare angoli  $\hat{i}$  di  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  e  $50^\circ$ . Appoggiare il proiettore sul foglio, schermare l'apertura rettangolare con il diaframma ad 1 fenditura e chiudere quella circolare con lo schermetto nero, infine accenderlo, alimentandolo a 12 V in corrente alternata o continua.

**Esperimento:** regolare la posizione del proiettore in modo che il fascio luminoso coincida con la prima traccia ( $\hat{i} = 20^\circ$ ), poi segnare con dei punti facilmente distinguibili l'uscita ed il percorso del raggio emergente.

Ripetere il procedimento, spostando il proiettore in ciascuna posizione successiva, poi completare i rilevamenti trovando e segnando la posizione in cui l'angolo di deviazione è minimo.

Smontare l'apparecchiatura, quindi tracciare con un righello tutti i raggi emergenti, i prolungamenti dei raggi incidenti ed emergenti, nonché la normale alla seconda faccia del prisma con piede nel punto di uscita di ciascun raggio emergente (è bene usare matite di diversi colori in modo da accoppiare senza possibilità di errore ciascun raggio incidente al proprio raggio emergente).

Misurare per ogni raggio incidente l'angolo  $\delta$  di deviazione e l'angolo  $\hat{e}$  di rifrazione (plexiglass - aria) e riportarne i valori nella tabella:

Angolo di deviazione $\delta$	Angolo di incidenza $\hat{i}$	Angolo di rifrazione $\hat{e}$	Angolo diedro $\alpha$
.....	$20^\circ$	.....	$45^\circ$
.....	$30^\circ$	.....	$45^\circ$
.....	$40^\circ$	.....	$45^\circ$
.....	$50^\circ$	.....	$45^\circ$
$\delta_m$ .....	.....	.....	$45^\circ$

**Conclusioni:** l'esame dei valori tabulati mostra che, nei limiti degli errori sperimentali, è

$$\delta = \hat{i} + \hat{e} - \alpha.$$

L'indice di rifrazione  $n$  del plexiglass può essere calcolato dai valori di  $\delta$ ,  $\hat{i}$  e  $\hat{e}$  nelle condizioni di angolo di deviazione minimo; in questo caso infatti, essendo  $\hat{i} = \hat{e}$  dalla formula  $\delta = \hat{i} + \hat{e} - \alpha$  si ha:

$$\delta_m = 2\hat{i} - \alpha \quad \text{da cui} \quad \hat{i} = \frac{\delta_m + \alpha}{2}$$

Inoltre essendo l'angolo di rifrazione  $\hat{r}$  sulla prima faccia uguale all'angolo di incidenza  $\hat{i}_1$  sulla seconda faccia, dalla relazione  $\alpha = \hat{r} + \hat{i}_1$  si ha:

$$\alpha = 2r \quad \text{cioè} \quad r = \frac{\alpha}{2}$$

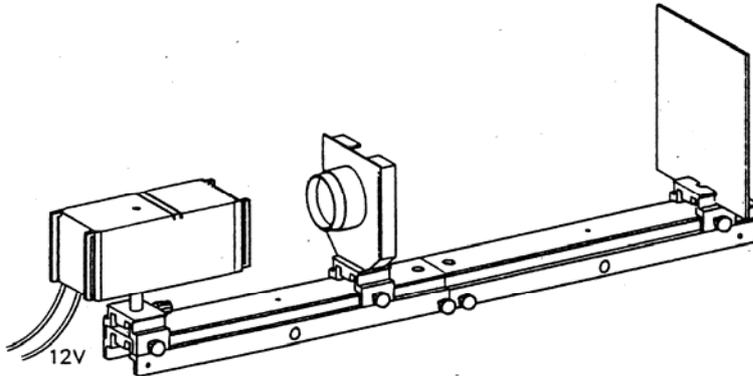
ed infine da :  $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } \hat{r}}$  si ottiene  $n = \frac{\delta m + \alpha}{2 \text{sen } \frac{\alpha}{2}}$ .

## LE LENTI CONVERGENTI

O 4.4.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	1
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
402	Lente f + 50mm con portalente	1
602	Portalente	1
702	Lente f +100mm con montatura	1
1202	Diaframma ad L	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione per detti	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



Lo studio effettuato nei precedenti esperimenti, con lo schematismo del metodo grafico-sperimentale, sulle sezioni in plexiglass di lenti sferiche viene ora esteso alle lenti convergenti biconvesse di vetro, nella forma a tutti nota, onde vedere quanto accade nella realtà.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura come nell'illustrazione.

Del proiettore diottico, montato alla sinistra del banco ottico, verrà usata l'apertura circolare, schermata dal diaframma a L (che fungerà da oggetto), mentre l'apertura rettangolare sarà chiusa dallo schermetto nero. Davanti al proiettore, a circa cm 15 di distanza, disporre la lente biconvessa  $f = + 100$  mm sorretta da un porta-lente e da un cavaliere; a circa cm 30 dalla lente disporre lo schermo, sul quale raccogliere l'immagine prodotta dalla lente.

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

**Esperimento:** regolare la posizione dello schermo in modo da ottenere l'immagine nitida. Misurare l'altezza **G** dell'oggetto (**L**) e la sua distanza **p** dalla lente, poi misurare l'altezza **B** dell'immagine e la distanza **q** dalla lente; riportare i valori di **G**, **B**, **p** e **q** nella tabella, poi ripetere le misurazioni, dopo aver spostato la lente a cm 20, cm 25, ecc... dall'oggetto e conseguentemente, lo schermo onde ottenere ogni volta un'immagine nitida dell'oggetto:

f	Distanza <b>p</b>	Distanza <b>q</b>	$\frac{1}{p} + \frac{1}{q}$	$\frac{1}{f}$	Dimensione <b>B</b>	Ingrandimento <b>B/G</b>	$\frac{p}{q}$
cm 10	<b>cm 15</b>	.....	.....	.....	.....	.....	.....
cm 10	<b>cm 20</b>	.....	.....	.....	.....	.....	.....
cm 10	<b>cm 25</b>	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Spostare la lente a cm 10 dall'oggetto e cercare di raccogliere l'immagine sullo schermo poi togliere lo schermo ed osservare l'oggetto attraverso la lente. Avvicinare ancora la lente a cm 7 dall'oggetto ed osservare quest'ultimo attraverso la lente stessa. Annotare le osservazioni.

**Conclusioni:** la tabella mostra inequivocabilmente che:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{e che} \quad \frac{B}{G} = \frac{p}{q}$$

La formula dei punti coniugati consente di determinare sperimentalmente, misurando le distanze **p** e **q** sul banco ottico, la distanza focale **f** incognita di una lente convergente. Fissata la distanza **p** dell'oggetto da una lente convergente di distanza focale **f** nota, è possibile calcolare la distanza **q** alla quale si forma l'immagine; se **q** non interessa e si desidera conoscere l'ingrandimento trasversale **I = B/G**, indipendentemente da **q**, si può usare la relazione (già usata per gli specchi):

$$I = \frac{f}{p - f}$$

**Nota:** la grandezza  $= 1/f$  si chiama **convergenza** o **potenza**; la sua unità di misura è la **diottria** (ad esempio: una lente con  $f = + 20$  cm ha una potenza  $= + 5$  diottrie).

A parità di condizioni (indice di rifrazione, distanza focale della lente e distanza **p** dell'oggetto) l'illuminamento dell'immagine fornita da una lente convergente è tanto più intenso quanto più grande è il rapporto tra il diametro **d** della lente e la sua distanza focale **f** :

$$\frac{d}{f} = a$$

La grandezza **a** serve a definire la luminosità degli obiettivi (sistemi ottici costituiti da una o più lenti).

## LE LENTI DIVERGENTI

## O 4.5.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	1
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
502	Lente $f = 100$ mm con portalente	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione per detti	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Fogli di carta bianca	
	Matita – Righello	
	Nastro adesivo	

Analogamente a quanto è stato nell'esperimento O 4.4. la presente prova ha lo scopo di esaminare le caratteristiche ed il comportamento di una lente convergente biconcava di vetro.

**Montaggio:** l'esperimento si articola su due prove distinte: per la prima occorre tracciare su un foglio di carta bianca 5 rette parallele equidistanti; per la seconda si farà uso dell'apparecchiatura predisposta secondo l'illustrazione. Montare il proiettore, sorretto dall'astina, alla sinistra del banco ottico ed usare l'apertura circolare; quella rettangolare deve essere chiusa con lo schermetto nero. Coprire lo schermo con un foglietto di carta bianca (fissato lateralmente con del nastro adesivo), tracciare le diagonali e, partendo dal centro, riportare su ogni semiretta un segmento di lunghezza pari al diametro  $d$  della lente biconcava usata; infine montare lo schermo nella fenditura del cavaliere apposito, sistemato di fronte alla lente dalla parte opposta del proiettore.

**Esperimento 1:** mantendendo la lente parallela al foglio di carta, al centro del sistema di rette parallele, muovere la lente fino a far coincidere l'immagine rimpicciolita della prima retta con la seconda reale e della quinta con la quarta; l'immagine della retta centrale deve essere esattamente sovrapposta alla retta-oggetto centrale. In questa posizione, misurare con esattezza la distanza fra il centro della lente ed il foglio di carta. Annotare il valore della misura.

**Esperimento 2:** accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a.

Fissare la posizione della lente  $f = -100$  mm ad una distanza non inferiore a cm 40 dall'apertura circolare del proiettore. Allineare il proiettore con il centro della lente e dello schermo, regolare il parallelismo tra la lente e lo schermo, poi spostare quest'ultimo fino a portare la circonferenza del disco luminoso nell'esatta corrispondenza con i quattro punti segnati sulle diagonali del foglio di carta. Misurare la distanza fra il centro della lente ed il centro dello schermo e prenderne nota.

**Conclusioni:** la distanza misurata nel primo esperimento è pari alla metà della distanza focale; l'immagine è virtuale, quindi  $q < 0$ . Infatti dalla relazione  $B : G = q : p$  segue per l'esperimento effettuato che  $q = 2p$  e quindi:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{2p} = -\frac{1}{f} \quad \dots \frac{1}{2p} = -\frac{1}{f} \quad \dots f = 2p$$

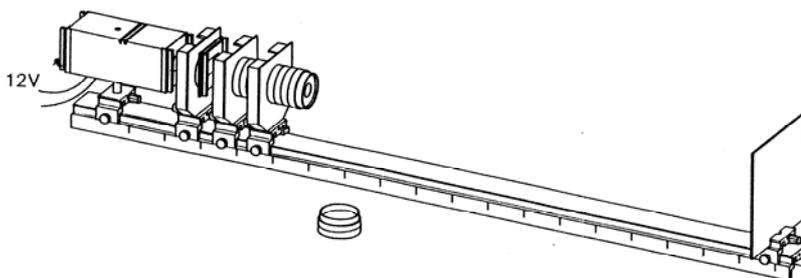
Il secondo esperimento rappresenta un artificio per misurare la distanza focale  $f$  di una lente divergente con il metodo sperimentale su un banco ottico, poiché l'immagine virtuale, non potendo essere raccolta su uno schermo, non consente la misurazione di  $q$ . Se si considerano il prolungamento dei raggi rifratti dalla lente che vanno a colpire i punti della circonferenza del disco illuminato di diametro  $2d$  ( $d$  è il diametro della lente), si vede che essi convergono in un punto (virtuale), situato sull'asse ottico della lente, ed in posizione opposta allo schermo, alla distanza pari a  $f$ .

## ABERRAZIONI DELLE LENTI CONVERGENTI

O 4.7.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena 12V/20W	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	4
202	Cavaliere per banco ottico con fenditura	1
402	Lente $f + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente e porta-diaframmi	3
702	Lente $f + 100$ mm con montatura	1
1102	Serie di diaframmi con foro	1
1302	Diapositiva	1
1902	Filtri colorati, rosso e bleu	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione per detti	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive ad innesto	1
3102	Diaframma con foro diametro mm 20 con montatura	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



L'esperimento O 4.6. ha fornito, in via schematica la spiegazione teorica delle aberrazioni presentate dalle lenti, in quanto sistemi ottici soltanto approssivamente stigmatici, acromatici ed ortoscopici.

La presente scheda ha lo scopo di mostrare gli effetti reali sulle immagini prodotte da una lente convergente biconvessa, quando intervengono l'aberrazione cromatica e l'aberrazione di sfericità.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione; con poche varianti di montaggio essa servirà per entrambe le prove.

Montare sul banco ottico lungo m 1, in successione da sinistra a destra, il proiettore diottrico con la linea indicante la posizione della lampada in esatta corrispondenza dello zero, di fronte all'apertura circolare (quella rettangolare va chiusa con lo schermetto nero) la lente condensatrice  $f = + 50$  mm, sorretta da un porta-lente, e su questa il porta-diapositive (nelle cui guide verrà inserito l'oggetto da proiettare nella seconda esperienza), quindi, a cm 15 dal porta-diapositiva, la lente da esaminare ( $d = + 100$  mm) sorretta da un porta-lente, ed infine sulla tacca 80 del banco ottico lo schermo.

Alimentare il proiettore a 12 V c.c. o c.a. ed accenderlo.

**Esperimento 1:** controllare l'allineamento dei vari elementi, poi regolare la posizione della lente  $f = + 100$  mm in modo da focalizzare sullo schermo l'immagine del filamento della lampada. Montare su questa lente il filtro rosso e notare che, per riavere un'immagine nitida occorre spostare lo schermo leggermente in avanti; annotare le posizioni della lente (che non dovrà mai essere spostata) e la posizione dello schermo.

Sostituire il filtro rosso con quello bleu: l'immagine del filamento non è più nitida ed occorre, quindi, regolare nuovamente la posizione dello schermo; fatto ciò, prendere nota della tacca in corrispondenza della quale si è ottenuta l'immagine perfetta.

**Esperimento 2:** spostare la lente  $f = + 100$  mm nella parte posteriore del porta-lente (rivolta verso il proiettore) e montare in sua vece un dispositivo porta-diapositiva, nelle cui guide va inserito il diaframma con foro (diametro mm 20); disporre lo schermo in corrispondenza della tacca 85 del banco, quindi inserire l'oggetto (diapositiva) da proiettare nel dispositivo libero. Mettere a fuoco sullo schermo l'immagine, spostando la lente  $f = + 100$  mm e fissarla, quindi, nella giusta posizione.

Sostituire il diaframma con foro  $\varnothing = 20$  mm, con quello di diametro 30 mm in modo da considerare anche i raggi ai bordi; ripetere la messa a fuoco, spostando lo schermo. In corrispondenza di quale tacca esso deve essere fissato per ottenere l'immagine nitida dell'oggetto? Annotare il valore.

Spostare lo schermo in corrispondenza della tacca 65 del banco e ripetere le due prove (con il foro da mm 20 e con quello da mm 30), dopo aver, ovviamente, spostato la lente  $f = + 100$  mm per ottenere un'immagine nitida dell'oggetto.

Annotare come in precedenza.

1)	Raggi prossimi all'asse Raggi ai bordi	Posizione dello schermo : 85 Posizione dello schermo: ...
2)	Raggi prossimi all'asse Raggi ai bordi	Posizione dello schermo : 65 Posizione dello schermo: ...

### Conclusioni:

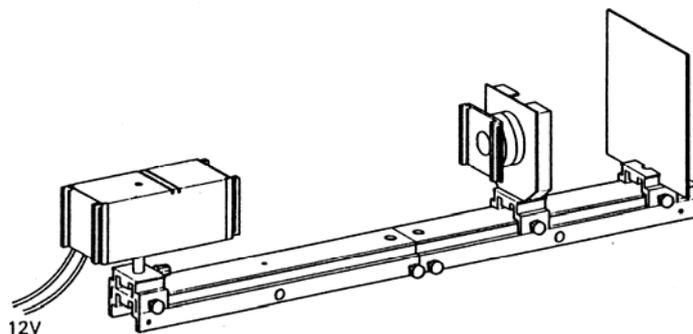
- 1) L'immagine nitida del filamento in luce rossa ed in luce bleu non si ottiene nello stesso piano, ma su piani paralleli diversi:  
la luce rossa è meno deviata della luce bleu e, pertanto, converge in un fuoco più lontano di quello della luce bleu: il fenomeno dà luogo alle iridescenze, che, spesso, contornano le immagini.
- 2) L'aberrazione di sfericità non consente di ottenere immagini nitide su tutto lo schermo, infatti per i raggi ai bordi queste si ottengono con lo schermo in una posizione diversa da quella richiesta dai raggi prossimi all'asse.

## L' OCCHIO

## O 4.8.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena 12V/20W	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	1
202	Cavaliere per banco ottico con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
402	Lente f + 50mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframma	2
702	Lente f +100mm con montatura	1
1102	Serie di diaframmi con foro	1
1202	Diaframma a L	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



L'esperimento si propone di studiare il sistema di percezione delle immagini da parte dell'occhio, esaminando la funzione delle parti che lo costituiscono e, in particolare, della pupilla e del cristallino.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione. Montare all'estremità sinistra del banco ottico il proiettore diottrico con l'apertura circolare rivolta al banco e quella rettangolare chiusa dallo schermetto nero; inserire fra le guide anteriori il diaframma con "L". A cm 40 da questo, disporre un porta-lente, sul quale va montata la lente  $f = + 100$  mm e, davanti ad essa (cioè rivolto verso il proiettore) un porta-diapositive, nelle cui guide va montato inizialmente il diaframma con foro di  $\varnothing = 8$  mm.

A cm 11 dalla lente disporre lo schermo sorretto da un cavaliere con fenditura. Nel montaggio così realizzato il diaframma con foro rappresenta la pupilla; la lente il cristallino e lo schermo la retina. Accendere il proiettore alimentandolo a 12 V c.c. o c.a.

**Esperimento 1:** regolare la posizione della lente in modo da ottenere nello schermo un'immagine nitida della "L" (capovolta). Spostare la lente in avanti di qualche centimetro (verso il proiettore): l'immagine sullo schermo non è più a fuoco e, per riottenerla nitida, occorrerebbe spostare lo schermo, ma ciò non è possibile in quanto, nell'occhio, la distanza cristallino-retina non può essere modificata.

Avvicinare il proiettore in modo che il diaframma con "L" sia a 7 cm dal diaframma con foro (pupilla) e, senza spostare il porta-lente dalla sua posizione, sostituire la lente  $f = + 100$  mm con la lente  $f = + 50$  mm: l'immagine della "L" sullo schermo è nuovamente nitida ed ingrandita.

Questo risultato di variazione dello spessore del cristallino è ottenuto, nell'occhio, mediante la contrazione del muscolo visivo (l'operazione è detta **accomodamento**).

**Esperimento 2:** ricostruire il montaggio iniziale dell'occhio all'estremità destra del banco ottico in modo da allontanare al massimo il proiettore con il diaframma a "L" e poter studiare le funzioni della pupilla.

Nelle condizioni riprodotte l'immagine della "L" è apparentemente a fuoco, ma non nitida. Sostituire il diaframma con foro da mm 8 con quello munito di foro di  $\varnothing$  mm 3: la luce sullo schermo si attenua, ma l'immagine della "L" risulta più nitida e resta tale anche spostando il proiettore di alcuni centimetri.

Nell'occhio la pupilla ha la funzione di regolare la quantità di luce da trasmettere alla retina (una luce troppo violenta la può danneggiare) e di rendere nitida la visione degli oggetti lontani.

**Conclusioni:** l'occhio può variare la distanza focale del cristallino, cioè il potere rifrattore dello stesso, variandone lo spessore (quando ciò non avviene correttamente, si hanno difetti della vista); la capacità dell'occhio di adattarsi per mettere a fuoco sulla retina l'immagine di oggetti a distanze diverse è detto **accomodamento**.

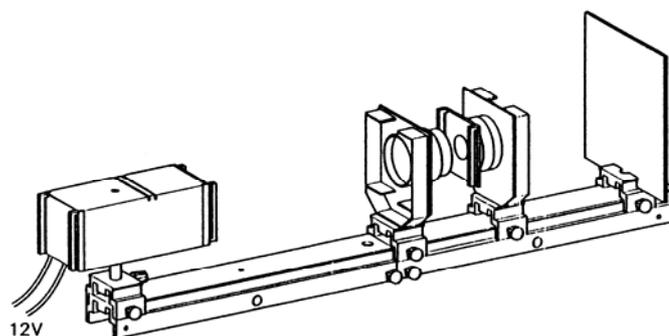
La pupilla ha la funzione di regolare l'incidenza della luce e di aumentare la profondità del campo visivo.

## CORREZIONE DEI DIFETTI DELLA VISTA

## O 4.9.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	2
202	Cavaliere per banco ottico con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
502	Lente $f = -100$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframma	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
802	Lente $f = +300$ mm con montatura	1
1102	Serie di diaframmi con foro	1
1202	Diaframma a L	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



I difetti della vista possono costituire un grosso impedimento per lo svolgimento normale della vista di un uomo; fortunatamente molti di essi possono essere corretti con gli occhiali. Scopo dell'esperimento è studiare il funzionamento di questi dispositivi.

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura sul banco ottico secondo l'illustrazione. Montare all'estremità sinistra del banco il proiettore diottrico munito del diaframma a "L". A cm 40 da questo disporre un porta-lente, sul quale va montata la lente  $f = +100$  mm (cristallino) e davanti ad essa un porta-diapositive, nelle cui guide deve essere inserito il diaframma con foro di  $\varnothing$  mm 8 (pupilla); a cm 11 dalla lente disporre lo schermo (retina), sorretto dal cavaliere con fenditura.

Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a., poi regolare la posizione della lente in modo da ottenere sullo schermo un'immagine nitida della "L" (capovolta).

**Esperimento 1: Miopia** - difetto causato da una lunghezza del bulbo oculare superiore al normale.

Per riprodurre questo difetto arretrare lo schermo di cm 5 in modo da aumentare la distanza fra il cristallino (lente  $f = + 100$  mm) e la retina (schermo): l'immagine dell'oggetto risulta sfocata. Montare su un porta-lente, disposto a cm 16 dalla lente che rappresenta il cristallino ( $f = + 100$  mm), una lente divergente  $f = - 100$  mm, che funziona da occhiale : l'immagine sullo schermo risulta ora nitida.

**Esperimento 2: Ipermetropia** - difetto causato da una lunghezza del bulbo oculare inferiore al normale.

Per riprodurre questo difetto spostare in avanti di cm 2 lo schermo in modo da diminuire la distanza dalla lente  $f = + 100$  mm a cm 9 circa. Montare su un porta-lente, disposto a cm 13 davanti al cristallino, la lente convergente con  $f = + 30$  mm : l'immagine sullo schermo risulta ora a fuoco.

**Conclusioni:** la miopia può essere corretta mediante lenti divergenti di distanza focale appropriata all'entità del difetto.

L'ipermetropia può essere corretta con lenti convergenti di distanza focale opportuna a seconda dell'entità del difetto.

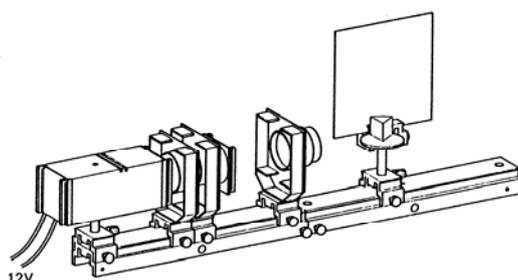
Un altro difetto della vista, che dal punto di vista ottico, ha gli stessi effetti dell'ipermetropia, è la presbiopia. Questo difetto, che può essere corretto, come l'ipermetropia, mediante lenti convergenti, insorge nell'uomo con l'avanzare dell'età (in genere dopo i 40 anni) ed è causato da una diminuzione dell'elasticità del cristallino, in quale non riesce più ad aumentare a sufficienza il proprio spessore per mettere a fuoco oggetti vicini.

## SCOMPOSIZIONE E RICOMPOSIZIONE DELLA LUCE

O 5.1.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	3
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	2
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframmi	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1502	Diaframma con fenditura	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
3202	Tavolino porta prisma	1
3302	Prisma equilatero	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



E' noto dalla scuola media che la luce bianca del sole o di una lampada ad incandescenza può essere scomposta, mediante un prisma, nelle radiazioni che la costituiscono, ottenendo una successione continua di colori (rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto) detta **spettro**.

Agli osservatori attenti il fenomeno non sarà sicuramente sfuggito allorché nel corso dell'esperimento = 3.6.1., il corpo prismatico di plexiglass, disposto nella condizione di angolo di deviazione minimo, produceva uno spettro di piccola apertura.

Scopo del presente esperimento è mostrare che la luce bianca è costituita dai sette colori dell'iride e che, componendo questi colori si ottiene la luce bianca.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione. Il proiettore diottrico va montato all'estremità sinistra del banco ottico con l'apertura circolare rivolta al banco stesso ( la finestra rettangolare deve essere chiusa con lo schermetto nero); disporre contro il proiettore la lente convergente  $f = + 50$  mm sorretta da un cavaliere, in modo da ottenere un fascio parallelo di luce; con un secondo cavaliere ed un porta-diapositive montato su un porta-lente posizionare contro la lente il diaframma con fenditura verticale; montare all'estremità opposta del banco ottico il cavaliere, nel cui intaglio va inserito lo schermo bianco. Per focalizzare l'immagine della fenditura verticale sullo schermo, disporre una lente convergente  $f = + 100$  mm, sorretta da un porta-lente e da un cavaliere, fra il diaframma con fenditura e lo schermo e regolarne in modo opportuno la posizione.

**Esperimento 1:** disporre a circa cm 35 dal proiettore il tavolino rotondo ed appoggiare su di esso il prisma equilatero di vetro flint. Mantenendo invariata la posizione degli altri elementi, togliere dal banco ottico il cavaliere con lo schermo ed appoggiarlo sul piano del tavolo; regolare la posizione del prisma in modo da ottenere le condizioni di angolo di deviazione minima e raccogliere sullo schermo il fascio di luce scomposta nei colori dell'iride; per allargare lo spettro è sufficiente ruotare lo schermo fino a renderlo parallelo al banco ottico. Osservare lo spettro ed annotare quale colore viene deviato di meno e quale di più.

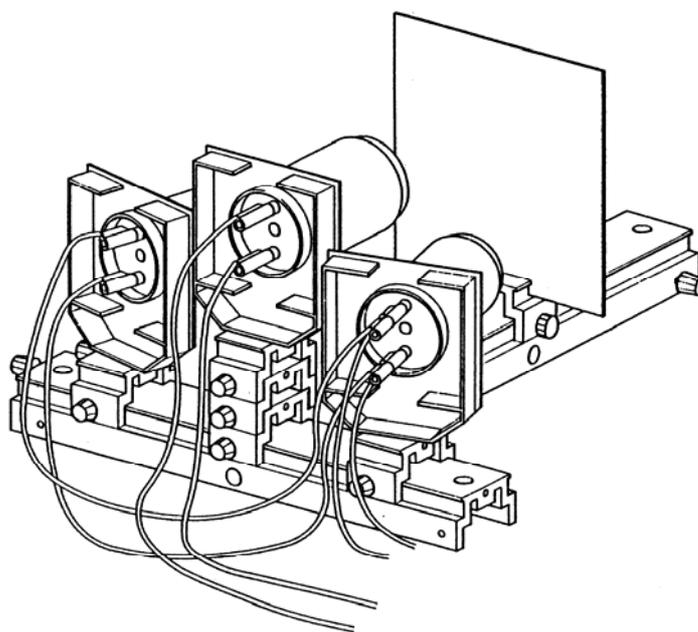
**Esperimento 2:** togliere la lente  $f = + 50$  mm con il proprio supporto e con il relativo cavaliere e fissare a quest'ultimo un secondo cavaliere in modo che la lente sia alla stessa altezza del prisma. Disporre questa lente dietro il prisma, per far sì che il fascio rifratto sia intercettato completamente da essa, poi regolare la posizione dello schermo fino ad ottenere un punto luminoso (punto focale), nel quale i colori si fondono.

**Conclusioni:** la luce bianca viene scomposta da un prisma nei colori spettrali. Il fenomeno è dovuto alla diversa rifrazione di ciascuna radiazione cromatica: quella che subisce la maggiore rifrazione è la luce violetta, quella che viene rifratta di meno è la luce rossa.

Una lente convergente consente di riunire i vari colori dello spettro in luce bianca.

**Elementi occorrenti:**

<b>1201</b>	Schermo bianco	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	3
<b>202</b>	Cavaliere con fenditura	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro	2
<b>602</b>	Porta-lente, porta-diaframma	3
<b>702</b>	Lente f = +100mm con montatura	1
<b>1802</b>	Proiettore cilindrico con lampada 12 V	3
<b>1902</b>	Serie di filtri colorati	1
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	6



Chi osserva lo spettro della luce bianca non può fare a meno di notare che, pur distinguendo i sette colori semplici dell'iride, passando dal rosso al violetto i colori sfumano con continuità dall'uno all'altro senza separazioni nette. E' quindi naturale chiedersi cosa si ottiene, quando si mescolano più colori semplici; scopo dell'esperimento è studiare la sintesi additiva di tre colori (rosso, verde e bleu), scelti a base di un importante sistema di riferimento colorimetrico e detti fondamentali per una proprietà che verrà osservata nella sperimentazione.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura come nell'illustrazione.

Innestare i tre proiettori cilindrici con lampada da 12 V in altrettanti porta diaframmi circolari, quindi montarli l'uno vicino all'altro su mezzo banco ottico rispettivamente con uno, tre ed un cavaliere. In corrispondenza del proiettore centrale disporre la seconda metà del banco ottico, perpendicolarmente alla prima, e su questa montare lo schermo sorretto dall'apposito cavaliere con fenditura.

Collegare il proiettore centrale all'uscita 12 V corrente continua dell'alimentatore, mentre i due proiettori laterali vanno collegati, in parallelo, all'uscita 12 V corrente alternata.

Montare i filtri rossi, verde e bleu nei proiettori.

**Esperimento:** accendere l'alimentatore: sullo schermo appariranno tre zone colorate corrispondenti ai colori dei tre filtri. Regolando l'orientamenti dei proiettori e la distanza dallo schermo, sovrapporre parzialmente le zone colorate in modo da avere tre aree di sovrapposizione di due colori ed al centro la sovrapposizione di tutti e tre. Quali colori derivano dalla sovrapposizione di ciascuna coppia di colori e quale colore si ottiene sommando i tre colori?

**Conclusioni:**

Colori <b>fondamentali</b>	colore <b>composto</b>	colori <b>fondamentali</b>	colore <b>composto</b>
rosso e verde	.....		
bleu e verde	.....	Rosso, verde, bleu	.....
rosso e bleu	.....		

La sensazione luminosa che l'occhio umano percepisce come luce bianca può essere prodotta dalla miscela dei tre colori fondamentali del sistema colorimetrico **RGB**.

**MISCUGLIO SOTTRATTIVO DI COLORI**

**O 5.3.**

**Elementi occorrenti:**

<b>101</b>	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	2
<b>602</b>	Porta-lente, porta-diaframma	1
<b>2002</b>	Serie di filtri colorati per miscugli sottrattivi	1
<b>2702</b>	Banco ottico 1 elemento da cm 50	1
<b>2902</b>	Astina con estremità filettata - cm 10	1
<b>3002</b>	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2

I corpi, che lasciano passare per trasparenza, la luce di un determinato colore ed assorbono tutti gli altri colori, sono detti **filtri**; il colore assorbito ed il colore trasmesso sono detti **colori complementari**: la loro sintesi dà la luce bianca. Come ogni colore può essere ottenuto per sintesi additiva dei tre colori fondamentali, così ogni colore può essere ottenuto per sottrazione, facendo passare la luce bianca attraverso tre filtri; in genere i colori che sono trasmessi dai tre filtri sono i complementari di quelli usati della sintesi additiva. Quest'ultimo sistema è usato nella stampa a colori.

Scopo dell'esperimento è studiare i miscugli sottrattivi di colori e confrontare i risultati con quelli dell'esperimento O 5.2.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura come nell'illustrazione.

Di fronte all'apertura circolare del proiettore diottrico (quella rettangolare deve essere chiusa con lo schermetto nero) disporre, su un cavaliere, un porta-lente munito di un porta-diapositive. Sul porta-diapositive verranno montati successivamente, nell'ordine indicato dalla tabella, i diversi filtri.

**Esperimento:** guardare attraverso ciascun accoppiamento di filtri ed annotare i colori nuovi che si ottengono, sottraendo alla luce bianca le radiazioni assorbite da ogni filtro. Osservare in particolare cosa si ottiene con l'uso contemporaneo dei tre filtri sottrattivi.

**Conclusioni:** nella sintesi sottrattiva i colori di base sono i seguenti:

giallo, ciano, magenta. Dal loro uso congiunto si ottengono i colori osservati sperimentalmente:

Colore dei filtri	Colore risultante
Ciano e giallo	.....
Magenta e giallo	.....
Ciano e magenta	.....

Confrontando i colori ottenuti nelle prime due prove con i filtri usati nell'esperimento O 5.2., si comprende il procedimento di stampa a colori.

## IL COLORE DEI CORPI

## O 5.4.

### Elementi occorrenti:

<b>101</b>	Proiettore diottrico	1
<b>1201</b>	Schermo bianco	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	1
<b>202</b>	Cavaliere con fenditura	1
<b>302</b>	Cavaliere con foro	1
<b>602</b>	Porta-lente, porta-diaframma	1
<b>1902</b>	Serie di filtri colorati	1
<b>2002</b>	Serie di filtri colorati per miscugli sottrattivi	1
<b>2702</b>	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
<b>2802</b>	Elemento di congiunzione	1
<b>2902</b>	Astina con estremità filettata - cm 10	1
<b>3002</b>	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Striscie di carta colorata: rossa, bleu e verde	
	Colla	

Il meccanismo della percezione dei colori (visione colorata) è un problema ancora da risolvere, anche se molti scienziati si sono dedicati a questa ricerca; la sensazione cromatica è strettamente legata alla sensibilità dell'occhio umano e, pertanto, la valutazione dei colori è un fatto soggettivo. Ciò malgrado, partendo dalle osservazioni effettuate negli esperimenti O 5.2. ed O 5.3., che si rifanno alla teoria della **tricromia** di Maxwell, è possibile spiegare perché tutti i corpi appaiano del colore, che noi attribuiamo a ciascuno, pur essendo illuminati con la stessa luce (quella del sole).

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Attaccare allo schermo tre strisce di carta (una rossa, una bleu, una verde) poi disporlo sul banco ottico mediante il cavaliere con fenditura.

All'estremità sinistra del banco sistemare il proiettore con l'apertura circolare rivolta allo schermo (l'apertura rettangolare va chiusa con lo schermetto nero); davanti al proiettore disporre il porta-lenti corredato del porta-diapositive, nel quale dovranno essere montati successivamente i filtri richiesti dalle varie prove.

Alimentare il proiettore a 12 V c.c. o c.a. ed illuminare lo schermo posto ad una distanza di circa ca 40 dal diaframma porta-lenti.

**Esperimento 1:** montare il filtro rosso sul porta-diapositive, accendere il proiettore ed osservare come si presentano le tre strisce colorate. Annotare il tipo di luce usata ed il colore di ciascuna striscia, quando è illuminata con tale luce.

**Esperimento 2:** sostituire il filtro rosso con il filtro bleu e ripetere le osservazioni con le relative note.

**Esperimento 3:** sostituire il filtro bleu con il filtro porpora e ripetere le osservazioni, annotandole con cura.

**Esperimento 4:** illuminare le strisce di carta colorata con la luce bianca (derivante, come è noto, dalla mescolanza di tutti i colori).

**Conclusioni:** per spiegare le osservazioni fatte nelle varie prove occorre anzitutto ricordare che i filtri sono trasparenti ad una banda di radiazioni piuttosto stretta (quella corrispondente al loro colore), mentre assorbono tutte le altre componenti della luce bianca: così, ad esempio, il filtro rosso trasmette la sola luce rossa ed il filtro bleu la sola luce bleu, ecc...

Quando si illuminano le striscie di carta rossa, bleu e verde con la luce rossa, nella quale sono presenti le radiazioni corrispondenti al bleu ed al verde, la striscia rossa appare chiara in quanto riflette la luce rossa, mentre le striscie bleu e verde risultano scure, poiché assorbono totalmente la stessa luce. In luce bleu la striscia rossa appare scura un quanto assorbe questa radiazione e, mancando il rosso, essa non può riflettere tale banda di colore.

Con il filtro porpora, che deriva dalla mescolanza additiva di rosso e di bleu, risultano visibili le striscie rossa e bleu, mentre appare scura la striscia verde in quanto la componente verde manca nella luce porpora.

In luce bianca le tre striscie di carta appaiono rispettivamente rossa, bleu e verde, poiché ciascuna di esse riflette il colore di competenza, mentre assorbe tutte le altre componenti.

La sensazione che si ha del colore dei corpi è dovuta al tipo di radiazione luminosa che ciascun corpo diffonde per riflessione.

## ENERGIA LUMINOSA ED ENERGIA TERMICA

## O 5.5.

---

<b>101</b>	Proiettore diottrico	1
<b>1201</b>	Schermo bianco	1
<b>102</b>	Cavaliere per banco ottico	2
<b>302</b>	Cavaliere con foro	1
<b>602</b>	Porta-lente, porta-diaframma	1
<b>702</b>	Lente $f = + 100$ mm con montatura	1
<b>2702</b>	Banco ottico 1 elemento da cm 50	1
<b>12S</b>	Morsetto doppio	1
<b>1C</b>	Termometro $-10^{\circ} \dots + 100^{\circ}\text{C}$	1
<b>26C</b>	Asta di sostegno cm 50	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Cronometro	

---

E' noto dalle esperienze precedenti che i raggi luminosi paralleli provenienti da una sorgente, quando colpiscono una lente convergente, sono deviati da questa e fatto convergere nel fuoco; tutti sanno anche che, ponendo un foglio di carta nel piano focale di una lente convergente rivolta al sole, dopo qualche istante la carta, nella zona del fuoco, si incendia.

L'esperimento può essere riprodotto in laboratorio, usando come sorgente luminosa il proiettore diottrico e disponendo nel fuoco di una lente convergente un termometro.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura come appare nell'illustrazione.

Il proiettore viene montato sul lato sinistro del banco ottico in modo da usare l'apertura circolare (la finestra rettangolare deve essere chiusa con lo schermetto nero); a breve distanza dal proiettore (cm 5-10) disporre la lente biconvessa da  $f = + 100$  mm, montata sul porta-lente sorretto da un cavaliere. Il termometro va situato con il bulbo esattamente nel punto focale della lente (la posizione di questo può essere trovata con l'aiuto dello schermo), regolando allo scopo sia la

posizione del cavaliere, che sorregge l'asta verticale, sia il morsetto al quale è sospeso lo strumento.

Collegare il proiettore all'alimentatore (12 V c.c. o c.a.) ed accenderlo.

**Esperimento:** all'istante dell'accensione far partire il cronometro poi leggere ogni minuto la temperatura indicata dal termometro ed annotarne i valori in modo da costruire il grafico della temperatura in funzione del tempo.

**Conclusioni:** la luce emessa dalla lampada ad incandescenza è costituita da radiazioni visibili (corrispondenti ai colori dello spettro) e da radiazioni invisibili (infrarosso ed ultravioletto), le quali vengono assorbite dai corpi in misura diversa a seconda del colore e del tipo di superficie dei corpi stessi (l'assorbimento è massimo per le superfici nere opache ed è minimo per quelle bianche lucide o speculari).

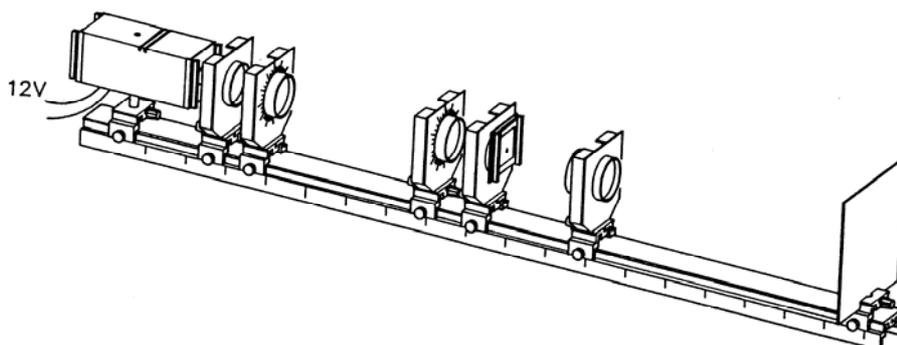
Poiché all'assorbimento delle radiazioni corrisponde un aumento della temperatura del corpo assorbente (il che significa che l'energia cinetica delle molecole del corpo è aumentata), ne consegue che **la luce** è una forma di **energia** che, assorbita dai corpi, viene trasformata in calore (energia termica).

## POLARIZZAZIONE DELLA LUCE

O 6.1.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	4
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
502	Lente $f = - 100$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframma	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1102	Serie di diaframmi con foro	1
2502	Supporto per filtri di polarizzazione, con scala	2
2602	Filtri di polarizzazione	2
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



La luce naturale quanto quella prodotta artificialmente da qualsiasi tipo di sorgente è costituita da onde luminose, nelle quali sono presenti tutte le direzioni di vibrazione perpendicolari alla direzione di propagazione; quando l'onda vibra in uno solo degli infiniti piani passanti per la retta di propagazione si dice che essa è **polarizzata** rettilinearmente.

La luce può essere polarizzata con diversi metodi: mediante cristalli birifrangenti (come la calcite ed il quarzo), mediante riflessione e rifrazione, mediante sostanze sintetiche, dette comunemente polaroidi. Il basso costo e la praticità d'uso di queste ultime le rendono particolarmente adatte a molti impieghi tecnici e didattici.

Scopo dell'esperimento è studiare le proprietà fondamentali della luce polarizzata mediante polaroidi.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Disporre il proiettore diottrico all'estremità sinistra del banco ottico e, contro la sua apertura circolare (quella rettangolare va chiusa con lo schermetto nero), montare la lente condensatrice  $F = + 50$  mm; a circa cm 40 da essa disporre il porta-lenti munito del porta-diapositive, nel quale dovrà essere inserito il diaframma con foro di  $\varnothing$  mm 8. Una lente convergente  $f = + 100$  mm, fissata sul banco a circa cm 16 di distanza dal diaframma consente di focalizzare l'immagine del foro sullo schermo disposto a cm 85 dal proiettore.

Montare quindi a cm 5 dalla lente  $f = + 50$  mm il primo filtro di polarizzazione sull'apposito porta filtri con scala; il secondo, inserito sull'altro porta-filtro, dovrà essere posizionato davanti al diaframma con foro con orientamento identico al primo (uguale posizione sulla scala graduata).

**Esperimento 1:** collegare il proiettore all'alimentatore (12 V c.c. o c.a.) ed accenderlo. Il fascio luminoso, reso parallelo dalla lente condensatrice attraversa il primo polaroid, che funge da polarizzatore, quindi il secondo polaroid (analizzatore) e produce sullo schermo un disco illuminato. Ruotare lentamente l'analizzatore di  $360^\circ$  ed osservare come varia l'illuminazione dello schermo. Annotare a quale angolo di rotazione si ha la massima luminosità ed a quale la minima. Osservare che la luce viene polarizzata nel passaggio attraverso il primo filtro; infatti se questo viene tolto dal suo supporto, l'illuminamento dello schermo resta costante, comunque venga ruotato il secondo polaroid.

**Esperimento 2:** rivolgere il polaroid verso la luce diurna e, montandolo (come analizzatore) osservare se la luce diffusa dall'atmosfera è polarizzata. Sarebbe utile poter ripetere l'operazione in ore diverse per studiare se la posizione del Sole incide o no sul fenomeno.

**Conclusioni:** i polaroidi hanno la proprietà di polarizzare linearmente la luce che li attraversa; se, sul cammino dei raggi polarizzati si pone un secondo polaroid (analizzatore), è possibile, ruotando quest'ultimo, far variare il flusso luminoso dal valore massimo (polaroidi paralleli) a zero (polaroidi incrociati).

Un polaroid, usato come analizzatore, consente di verificare, se una certa luce è polarizzata o no. Con questo procedimento si può osservare che la luce del Sole risulta parzialmente polarizzata per effetto del suo passaggio attraverso l'atmosfera terrestre; l'entità della polarizzazione dipende dalla posizione del Sole rispetto all'orizzonte.

La polarizzazione è un fenomeno che si verifica soltanto con le onde trasversali, nelle quali la direzione dello spostamento è ortogonale alla direzione di propagazione.

## ANGOLO DI BREWSTER

O 6.2.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
601	Corpo ottico semicircolare	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	4
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	2
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframmi	1
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1502	Diaframma con fenditura	1
2502	Porta-filtri di polarizzazione, con scala	2
2602	Filtri di polarizzazione	2
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
3202	Tavolino porta prismi	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Cartoncino bianco	
	Matita – Righello	
	Nastro adesivo (scotch)	

Quando un fascio di luce attraversa due mezzi di diversa densità ottica, nella superficie di separazione fra i due mezzi il fascio luminoso viene in parte riflesso ed in parte rifratto; si è osservato sperimentalmente che entrambi i fasci risultano parzialmente polarizzati.

Scopo dell'esperimento è verificare quanto sopra e trovare le condizioni, nelle quali la polarizzazione è massima.

**Montaggio:** l'illustrazione schematizza l'apparecchiatura vista dall'alto.

Su una metà del banco ottico sono montati in successione, da sinistra verso destra, il proiettore diottrico, la lente condensatrice  $f = + 50$  mm, il porta-diaframmi munito del porta-diapositive con inserito il diaframma con fenditura verticale ed il tavolino porta-prismi; nella seconda metà del banco ottico vengono montati un porta-lente con lente  $f = + 100$  mm (per focalizzare l'immagine della fenditura sullo schermo), un porta-filtro con scala, sul quale dovrà essere successivamente montato il polaroid analizzatore, ed infine lo schermo.

Ritagliare un quadrato di cm 10 X 10 da un cartoncino bianco e tracciare al centro di esso due rette ortogonali (parallele ai lati); con un po' di nastro adesivo fissare il quadrato al tavolino porta-prismi, quindi appoggiare su di esso il corpo semicircolare di plexiglass in modo che la superficie piana coincida con una retta e l'altra sia perpendicolare al centro della stessa.

Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a., poi regolare l'allineamento dei vari oggetti per far sì che il fascio di luce incida sulla superficie piana del corpo ottico esattamente nel punto centrale (intersezione fra le due rette) secondo un angolo di incidenza  $\hat{i}$  di circa  $30^\circ$ ; allineare la seconda metà del banco con il raggio riflessivo e regolare la posizione della lente  $f = + 100$  mm fino ad ottenere un'immagine della fenditura nitida sullo schermo.

**Esperimento:** montare il polaroid analizzatore sul porta-filtri con scala, poi ruotarlo fino ad ottenere l'illuminamento minimo dello schermo.

Ruotare il tavolino porta-prismi per aumentare  $\hat{i}$  e, quando si ottiene che l'angolo compreso fra il raggio riflesso ed il raggio rifratto sia di  $90^\circ$ , bloccarlo in quella posizione.

Allineare la seconda parte del banco ottico con il raggio riflesso, poi ruotare l'analizzatore fino all'illuminamento minimo dello schermo, che, in questo caso, corrisponde all'estinzione totale della luce. Segnare con la matita sul cartoncino bianco la direzione del raggio incidente e del raggio rifratto in modo da poter misurare, al termine delle prove, gli angoli  $\hat{i}$  ed

$\hat{r}$  rispetto alla normale alla superficie di separazione aria-plexiglass.

Spostare la seconda metà del banco ottico in modo da raccogliere il raggio rifratto ed osservare che l'illuminamento dello schermo è massimo. Annotare la posizione del polaroid (corrispondente all'estinzione del raggio riflesso), poi ruotarlo fino ad ottenere l'estinzione del raggio rifratto.

Quanto vale l'angolo compreso fra le due posizioni?

**Conclusioni:** la luce riflessa sulla superficie di separazione di due mezzi trasparenti è parzialmente polarizzata e così anche quella rifratta; quando l'angolo compreso fra il fascio riflesso ed il fascio rifratto è retto, entrambi i fasci luminosi sono polarizzati totalmente. In tal caso la superficie che ha prodotto il fenomeno è detta specchio polarizzatore e l'angolo  $\hat{i}$  di incidenza del fascio è detto angolo di polarizzazione. Tale angolo può essere ricavato dalla **legge di Brewster**:  $\hat{i} = \text{arc tang } n$  dove  $n$  è l'indice di rifrazione del secondo mezzo rispetto al primo.

Nel caso del vetro e del plexiglass, che hanno indice di rifrazione relativo all'aria  $n = 1,5$  l'angolo di polarizzazione  $\hat{i}$  è di circa  $57^\circ$ , come è risultato, sia pure con approssimazione, dall'esperimento.



**Esperimento 1:** ruotare l'analizzatore fino all'estinzione completa della luce (polaroid incrociati) poi inserire il quarzo nel suo supporto e regolarne la posizione in modo che sia completamente illuminato.

Sullo schermo appare nuovamente il disco luminoso colorato e ruotando di  $360^\circ$  l'analizzatore il disco assume i colori verde, bleu, rosso e giallo, i quali sono i complementari della radiazione luminosa annullata di volta in volta.

Se, per ottenere la successione dei colori rosso, giallo, verde e bleu, si deve ruotare l'analizzatore verso destra (senso orario), il quarzo esaminato è destrorgiro, se invece si deve ruotare in senso contrario per ottenere la stessa successione, il quarzo è levogiro.

**Esperimento 2:** montare sulla lente  $f + 50$  mm, uno alla volta, i filtri rosso, verde e bleu che vengono così a trovarsi tra lente e polarizzatore; all'inizio di ciascuna delle tre prove i due polaroid devono essere incrociati, quindi, ogni volta, ruotando l'analizzatore, si dovrà annullare la corrispondente luce sullo schermo. Leggere sulla scala dell'analizzatore l'angolo di rotazione effettuato e prenderne nota.

**Rosso** ..... ; **verde** ..... ; **bleu** ..... .

Poiché il potere rotatorio è definito per cristalli aventi lo spessore di mm 1, mentre il quarzo usato è spesso mm 5, dividendo per 5 il valore dei tre angoli di rotazione misurati, si ottiene il potere rotatorio del quarzo rispetto alle lunghezze d'onda dei tre colori considerati.

**Conclusioni:** un cristallo di quarzo, tagliato in direzione normale all'asse ottico, determina una rotazione del piano di polarizzazione della luce (polarizzata linearmente), che lo attraversa; l'angolo di rotazione è diverso per ciascun colore (dispersione rotatoria) ovvero dipende dalla lunghezza d'onda della luce usata. Infatti, mediante l'esperimento 2, si è ottenuto il potere rotatorio del quarzo per i colori:

**Rosso** ..... gradi; **verde** ..... gradi; **bleu** .....gradi.

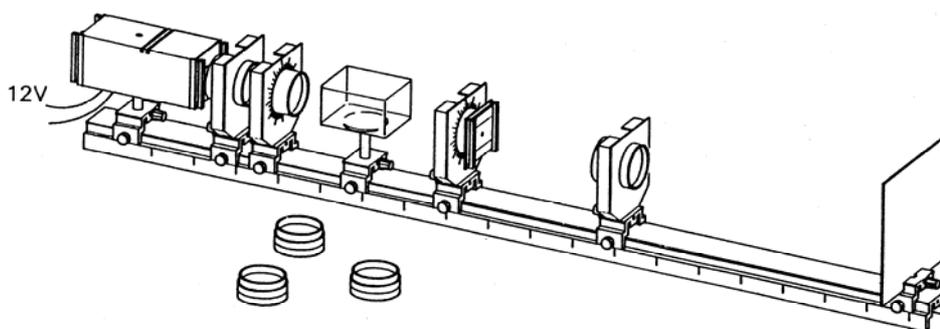
L'angolo di rotazione dipende in modo essenziale dallo spessore del cristallo attraversato, infatti per definire il potere rotatorio di un cristallo otticamente attivo si fa riferimento allo spessore di mm 1.

## IL SACCARIMETRO

O 6.4.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	4
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	2
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframmi	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1102	Serie di diaframmi con foro	1
1902	Serie di filtri colorati: rosso, verde e bleu	1
2302	Vaschetta trasparente	1
2502	Supporto per filtri di polarizzazione, con scala	2
2602	Filtri di polarizzazione	2
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
3202	Tavolino porta-prismi	1
15M1	Cilindro in plastica, graduato, ml 100	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2
	Zucchero	g 60
	Acqua	ml 60
	Agitatore	



Soluzioni di sostanze otticamente attive determinano la rotazione del piano di oscillazione di un fascio di luce, polarizzata rettilinearmente, che le attraversa; il fenomeno si verifica, in particolare, con le soluzioni zuccherine e viene utilizzato in strumenti, detti **saccarimetri**, per determinare il tenore in zuccheri della frutta, dei succhi di frutta e di vegetali, nei mosti, ecc...

Scopo dell'esperimento è studiare da quali fattori dipende l'angolo di polarizzazione e verificare il funzionamento di un modello di saccarimetro.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Allo scopo montare sul banco ottico, in successione da sinistra a destra, il proiettore diottrico, la lente condensatrice  $F = + 50$  mm, il polarizzatore innestato sull'apposito porta-filtri con scala, a cm 15 il tavolino porta-prismi (sul quale verrà appoggiata la vaschetta trasparente con la soluzione zuccherina), a cm 30 il secondo porta-filtri con scala completo di analizzatore, sul quale è innestato il porta-diapositive munito del diaframma con foro di  $\varnothing$  mm 8; a cm 16 da quest'ultimo disporre il porta-lente con lente  $f = + 100$  mm ed infine, a cm 85 dall'apertura circolare del proiettore, lo schermo.

Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a., disporre i polaroidi paralleli e regolare la posizione della lente  $F = + 100$  mm per ottenere un'immagine nitida del foro sullo schermo, poi ruotare l'analizzatore fino all'estinzione della luce (polaroidi incrociati).

Appoggiare la vaschetta, contenente 60 ml di acqua, sul tavolino porta-prismi, disponendola con il lato lungo parallelo alla direzione del fascio luminoso, il quale dovrà attraversarla completamente a pochi millimetri dal fondo della stessa: lo schermo continua ad essere oscurato.

Preparare due dosi da g 20 ciascuna di zucchero comune.

**Esperimento 1:** far sciogliere la prima dose (20 g) di zucchero nei 60 ml di acqua della vaschetta. Quando lo zucchero è sciolto, sullo schermo riappare un disco illuminato. Guardando dal lato dello schermo, ruotare l'analizzatore in senso anti-orario (rotazione levogira): l'illuminamento dello schermo aumenta; con rotazione oraria (destrogira) il disco diventa più scuro, quindi, passando dal bleu, al giallo, torna ad esser chiaro.

**Esperimento 2:** montare uno alla volta, fra la lente  $f = - + - 50$  mm ed il polarizzatore, i filtri rosso, giallo, verde e bleu. Partendo con il polaroidi incrociati, ruotare l'analizzatore e misurare, per ciascun filtro, l'angolo di rotazione  $\alpha$ , al quale si ha la quasi totale scomparsa di luce:

**Rosso** .....; **Giallo** .....; **Verde** .....; **Bleu** .....

**Esperimento 3:** aggiungere alla soluzione della vaschetta gli altri g 20 di zucchero e scioglierli completamente poi ripetere le prove dell'esperimento 2:

**Rosso** .....; **Giallo** .....; **Verde** .....; **Bleu** .....

**Esperimento 4:** ruotare la vaschetta di  $90^\circ$  sul tavolino in modo da ridurre a metà lo spessore  $d$  della soluzione e ripetere le 4 prove:

**Rosso** .....; **Giallo** .....; **Verde** .....; **Bleu** .....

**Conclusioni:** le soluzioni zuccherine provocano la rotazione del piano di polarizzazione della luce che le attraversa; l'angolo di rotazione  $\alpha$  dipende dalla lunghezza d'onda della luce usata, dalla concentrazione  $c$  della soluzione e dallo spessore  $d$  della stessa.

Con le osservazioni effettuate si può stabilire che :  $\alpha = c \cdot d \cdot [\alpha]$ , essendo  $[\alpha]$  il **potere rotatorio specifico** della soluzione(dipendente dalla lunghezza d'onda) ovvero l'angolo di rotazione prodotto da una soluzione zuccherina avente  $c = 1 \text{ g} / 1 \text{ ml}$  (cioè 1 g di zucchero ogni ml di soluzione) e spessore  $d = 10 \text{ cm}$  (ricordare che  $c$  dipende dalla temperatura).

I valori di  $[\alpha]$  per ciascun colore (filtri rosso, giallo, verde e bleu) possono essere calcolati con i dati a disposizione.

Per calcolare la concentrazione  $c$  occorre misurare il volume  $V$  della soluzione contenuta nella vaschetta (40 g di zucchero in 60 ml di acqua) mediante un cilindro graduato e dividere 40 per  $V$ :  $c = \dots$ ;  $d$  può essere la lunghezza della vaschette (nel qual caso gli angoli di rotazione  $\alpha$  saranno quello dell'esperimento 3, oppure la larghezza ( e quindi i valori di  $\alpha$  misurati nell'esperimento 4):

	Rosso	Giallo	Verde	Bleu
<b>Potere rotatorio specifico <math>[\alpha]</math></b>	.....	.....	.....	.....

La rotazione é minima per il colore rosso e massima per il bleu.

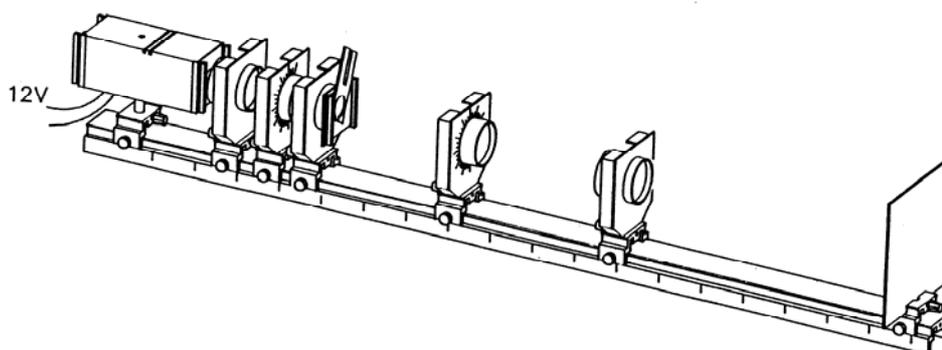
Conoscendo  $[\alpha]$ , il saccarimetro consente di determinare la concentrazione  $c$  di una soluzione.

## LA BIFRANGENZA MECCANICA

O 6.5.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	4
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	2
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframma	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
2402	Serie di corpi fotoelastici	1
2502	Supporto per filtri di polarizzazione, con scala	2
2602	Filtri di polarizzazione	2
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



Talune materie plastiche trasparenti ed isotrope hanno la proprietà di dar luogo a fenomeni di birifrangenza, quando vengono sottoposte a sollecitazioni esterne. Tali sostanze, interposte fra due polaroidi incrociati, producono effetti di colore, in proiezione, i quali, variando in funzione dell'entità delle sollecitazioni, consentono di studiare le reazioni interne della sostanza stessa. La birifrangenza meccanica è alla base della **fotoelasticimetria**: un metodo di analisi applicato nella tecnica per esaminare la resistenza di strutture sottoposte a sforzi.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Montare sul banco ottico lungo m 1, in successione da sinistra a destra, il proiettore diottrico, la lente condensatrice  $F = + 50$  mm, a cm 5 di distanza da questa il porta-filtri con scala sul quale va inserito il polarizzatore, quindi un porta-diaframmi con porta-diapositive, nelle cui guide verrà posto il corpo fotoelastico da esaminare, il secondo porta-filtri con scala, munito di analizzatore, a circa cm 15 il porta-lente con lente  $f = + 100$  mm ed infine a cm 60 lo schermo.

Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a. , regolare gli allineamenti, quindi incrociare i polaroidi per produrre l'estinzione della luce.

**Esperimento 1:** montare il corpo fotoelastico sul porta-diapositive.

Sullo schermo si ottengono delle immagini colorate, determinate dalle tensioni interne della resina acrilica costituente il corpo, le quali dovranno essere focalizzate, regolando la posizione della lente  $f = + 100$  mm.

Ruotare l'analizzatore ed osservare cosa accade in proiezione.

**Esperimento 2:** togliere il corpo fotoelastico ed il relativo supporto dal banco ottico e riportare i polaroidi in posizione incrociata.

Nello stesso punto, in cui si trovava il corpo fotoelastico, disporre la striscia di plastica acrilica, tenendola con le mani: sullo schermo si osserva una macchia chiara che, ruotando la striscia, scompare.

In questa condizione (cioè con pochissima luce sullo schermo) tendere la striscia con una certa forza: la tensione, che in questo modo si produce sulla striscia stessa, provoca un sensibile aumento della luce sullo schermo e la comparsa di linee longitudinali; il fenomeno cessa, quando si interrompe la sollecitazione esterna.

**Conclusioni:** le tensioni meccaniche rendono birifrangenti materiali trasparenti isotropi come il plexiglass, le resine acriliche, il cellophane, ecc...

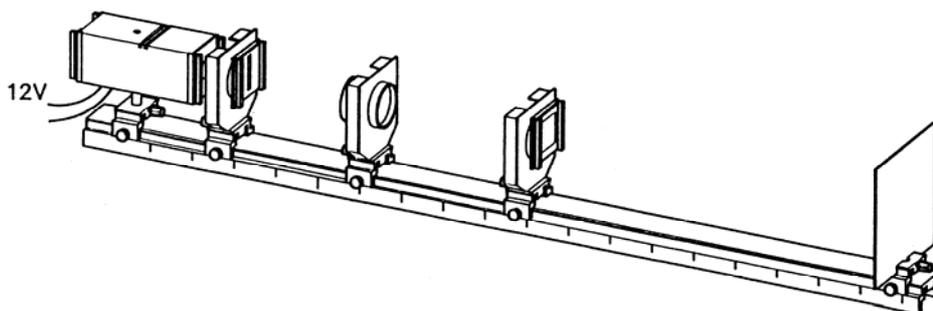
Esaminando in luce polarizzata dei modelli costruiti con tali materiali e sottoposti a sollecitazioni esterne, è possibile rilevare le zone od i punti di maggiore tensione interna, nei quali si possono verificare le rotture.

## DIFRAZIONE DELLA LUCE CON I RETICOLI

O 7.1.

### Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	3
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframmi	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1402	Reticolo di diffrazione 300 linee/mm	1
1502	Diaframma con fenditura	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	2
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



Quando uno stretto fascio di luce incontra un oggetto molto piccolo o uno spigolo vivo, la luce viene diffratta (deviata) e nello spazio retrostante si osserva una zona solcata da righe chiare, anziché un'ombra come vorrebbe l'ottica geometrica. Il fenomeno, che è spiegabile soltanto con la teoria ondulatoria della luce, fu studiato, in particolare da Young, mediante le fenditure e poi con i reticoli (dispositivi ottici costituiti da un gran numero di fenditure sottili e vicine).

Scopo dell'esperimento è studiare la diffrazione derivante dal passaggio della luce attraverso un reticolo ottico.

**Montaggio:** predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Montare il proiettore diottrico all'estremità sinistra del banco ottico e, di fronte all'apertura circolare, sistemare la lente condensatrice  $f = + 50$  mm, su di essa va inserito il porta-diapositive, nelle cui mollette è fissato il diaframma con fenditure verticali; a circa cm 18 – 20 dal proiettore disporre il porta-lente con la lente convergente  $f = + 100$  mm per focalizzare l'immagine della fenditura sullo schermo situato a cm 50 dallo stesso proiettore.

Alimentare il proiettore a 12 V c.c. o a.c. ed accenderlo onde poter curare l'allineamento e la nitidezza dell'immagine della fenditura.

**Esperimento:** a pochi centimetri dalla lente  $f = + 100$  mm disporre un porta-lente, munito di dispositivo porta-diapositive, nelle cui guide va inserito il reticolo di diffrazione con le linee verticali. Sullo schermo si osservano immagini di diffrazione, costituite da righe colorate (spettro di diffrazione); il colore rosso è il meno deviato, mentre per il blu la deviazione è massima. Quali differenze si rilevano rispetto allo spettro prodotta dal prisma?

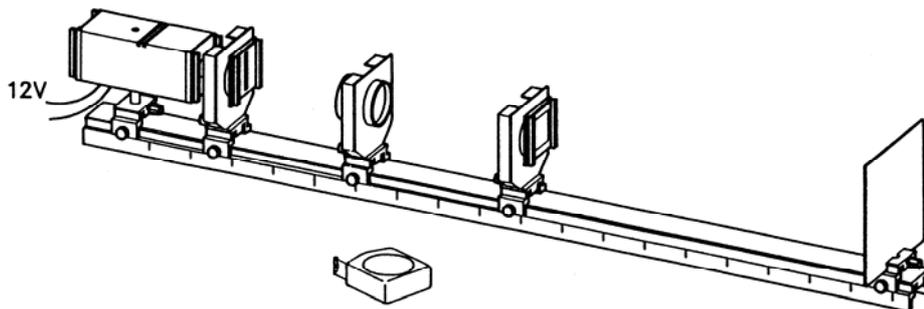
**Conclusioni:** nel passare attraverso un reticolo ottico un fascio luminoso stretto subisce una diffrazione; l'angolo di diffrazione aumenta con l'aumentare della lunghezza d'onda.

Un fascio di luce bianca produce spettri di diffrazione simmetrici rispetto all'immagine centrale della fenditura, dalla quale il fascio stesso proviene.

## MISURA DELLA LUNGHEZZA D'ONDA CON IL RETICOLO O 7.2.

## Elementi occorrenti:

101	Proiettore diottrico con lampada alogena	1
1201	Schermo bianco	1
102	Cavaliere per banco ottico	3
202	Cavaliere con fenditura	1
302	Cavaliere con foro	1
402	Lente $f = + 50$ mm con supporto	1
602	Porta-lente, porta-diaframmi	2
702	Lente $f = +100$ mm con montatura	1
1402	Reticolo di diffrazione 300 linee/mm	1
1502	Diaframma con fenditura	1
2702	Banco ottico costituito da 2 elementi di cm 50	1
2802	Elemento di congiunzione	1
2902	Astina con estremità filettata - cm 10	1
3002	Porta-diapositive	2
27M1	Metro a nastro	1
	Alimentatore 12 V	1
	Fili di collegamento	2



Il reticolo ottico consente di determinare, con un semplice metodo geometrico la lunghezza d'onda delle varie radiazioni colorate presenti nello spettro di diffrazione da esso prodotto. Nell'esperimento viene anche studiato l'effetto dei filtri colorato nel processo di diffrazione.

**Montaggio:** la disposizione sperimentale dei vari elementi è chiaramente illustrata. Partendo dalla sinistra del banco ottico vengono montati in successione : il proiettore diottrico, davanti alla cui apertura circolare è sistemata la lente condensatrice  $F = + 50$  mm con il porta-diapositive, nelle cui mollette va inserito il diaframma con fenditura verticale; a circa cm 18 dalla sorgente luminosa è montato un porta-lente con la lente  $f = + 100$  mm, a cm 10 da questa va disposto un secondo porta-lente con dispositivo porta-diapositive, fra le cui guide dovrà essere inserito il reticolo di diffrazione con 300 linee/mm.

Accendere il proiettore, alimentandolo a 12 V c.c. o c.a., controllare gli allineamenti, quindi regolare la posizione della lente  $f = + 100$  mm in modo che l'immagine della fenditura risulti perfettamente a fuoco sullo schermo, disposto a cm 75 dal proiettore; infine inserire il reticolo nel porta-diapositive.

**Esperimento:** sullo schermo appaiono due spettri di diffrazione simmetrici rispetto all'immagine centrale della fenditura, nei quali il rosso risulta il meno deviato ed il bleu il più deviato.

Spostare lo schermo lungo il banco ottico in modo da far coincidere, ad esempio, la riga verde dei due spettri con i corrispondenti spigoli verticali dello stesso (spostare eventualmente di lato lo schermo). In questa condizione si può misurare con buona precisione la distanza **L** di uno spigolo

dello schermo dal centro del reticolo ed osservare che la distanza **l** fra lo spigolo considerato e l'immagine della fenditura è pari alla metà del lato (cm 20) dello schermo, per cui dalla relazione:

$$\lambda = \frac{c \cdot l}{n \cdot L}$$

essendo nota la costante **c** del reticolo (distanza tra due linee) ed essendo **n = 1** (spettro del primo ordine), è immediato calcolare la lunghezza d'onda della riga verde.

Procedere in modo analogo per gli altri colori:

Colore	Distanza <b>L</b> in mm	Lunghezza d'onda $\lambda$ in mm
<b>Rosso</b>	.....	.....
<b>Giallo</b>	.....	.....
<b>Verde</b>	.....	.....
<b>Bleu</b>	.....	.....

**Conclusioni:** mediante un reticolo di diffrazione, del quale sia nota la costante **c**, è possibile determinare la lunghezza d'onda di ciascuna riga dello spettro.

L'angolo di diffrazione  $\alpha$ , secondo il quale ogni singolo colore viene deviato, dipende dalla lunghezza d'onda: esso è minimo per il colore rosso ed è massimo per il bleu.

Tale angolo può essere ricavato con il calcolo dalla relazione:

$$\sin \alpha = \frac{l}{L}$$