



## Misure di ottica

In questo esperimento, si misureranno le proprietà ottiche di sistemi fisici con la massima precisione possibile utilizzando l'attrezzatura disponibile.

Nota: sotto il tavolo ci sono due bottiglie d'acqua che si useranno nel secondo esperimento - **non devi berle**.

Nella parte A si useranno due metodi diversi per misurare l'indice di rifrazione di un disco trasparente. Il primo metodo è tradizionale, mentre il secondo è più originale e consente un livello superiore di precisione.

Nella parte B si misurerà il rapporto tra la lunghezza d'onda  $\lambda$  del laser e il passo di un reticolo di diffrazione,  $d$ , con l'obiettivo di ottenere il massimo livello possibile di accuratezza.

Nella parte C si misurerà l'indice di rifrazione di un prisma triangolare, con l'obiettivo di raggiungere il massimo livello di accuratezza.

Durante lo svolgimento degli esperimenti, il locale dove si svolgerà la prova verrà oscurato per 100 minuti, a partire da 20 minuti dopo l'inizio della prova (è possibile utilizzare una lampada da tavolo quando è necessario avere a disposizione della luce). È meglio lavorare, nella parte A dell'esperimento restando al buio, ma è anche possibile lavorare per la maggior parte del tempo alla luce.

È possibile utilizzare le pareti del cubicolo come schermo e applicare nastri adesivi sulle pareti stesse.

In questi esperimenti, si userà un laser a diodi come sorgente luminosa.

### Istruzioni sulla sicurezza con il laser

- **MAI guardare direttamente dentro la sorgente del fascio laser!**

In tutti gli esperimenti, il raggio laser è orizzontale. Quando si misura la posizione del raggio laser su una superficie, **assicurarsi che la testa sia SEMPRE al di sopra del livello del raggio**.

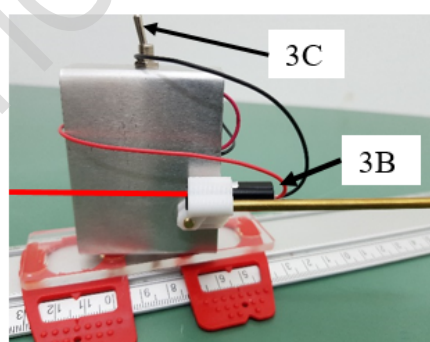
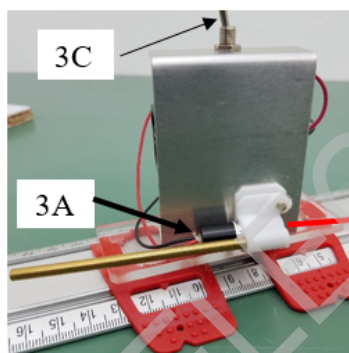
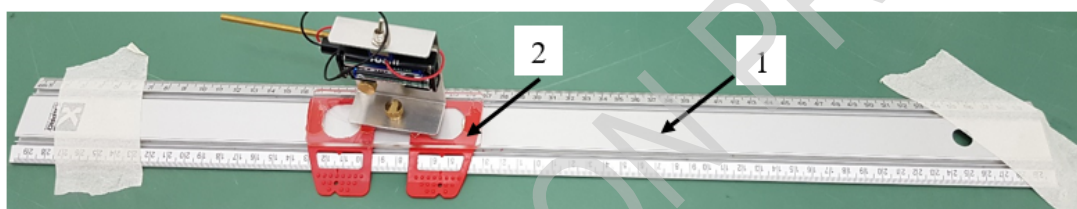
- Non puntare il raggio laser verso l'apertura del cubicolo.
- Spegnerne il laser quando non si eseguono misurazioni.

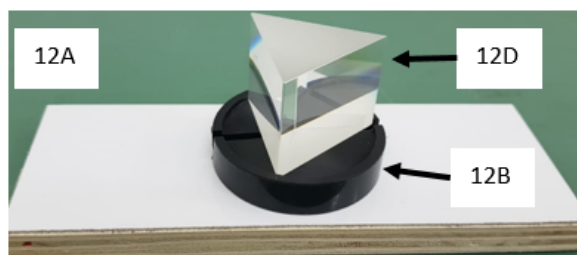
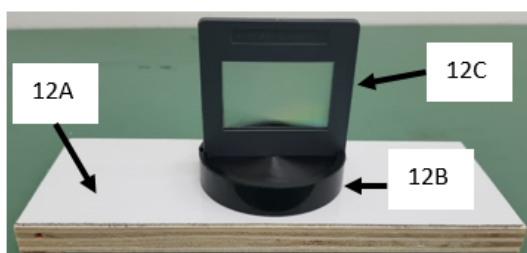
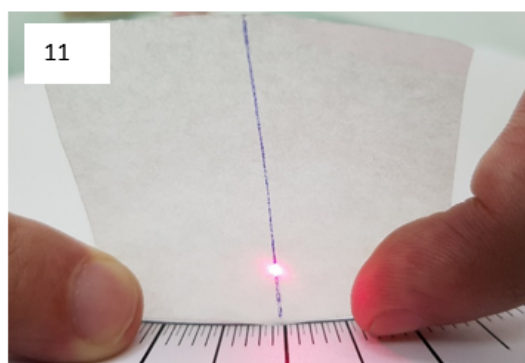
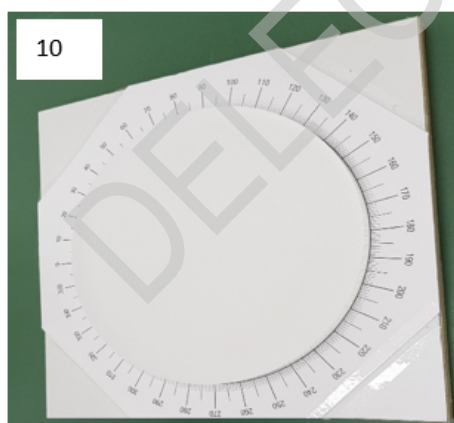
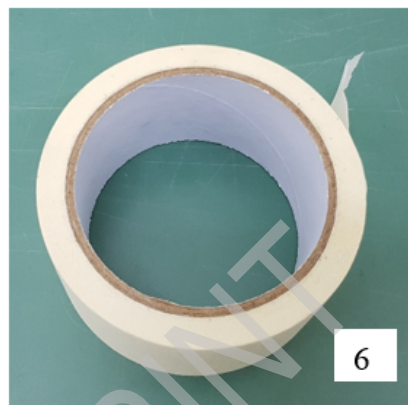
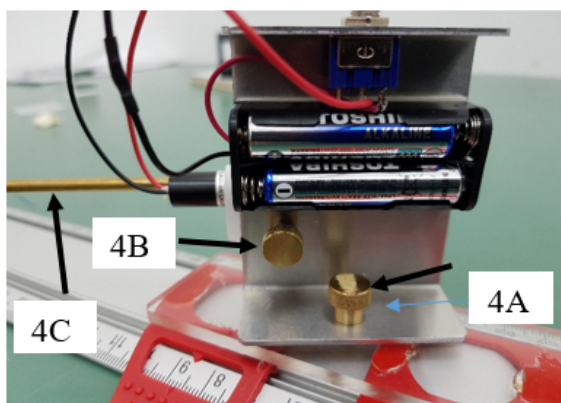
### Materiali e strumenti a disposizione

I pezzi dall'1 al 9 vengono adoperati in ognuna delle tre parti dell'esperimento, gli oggetti dal 10 al 12 vengono usati ciascuno in una sezione diversa dell'esperimento. Attenzione che vengono messi a disposizione diversi sistemi ottici - non toccare le pareti verticali di nessuno di essi per evitare di sporcarle

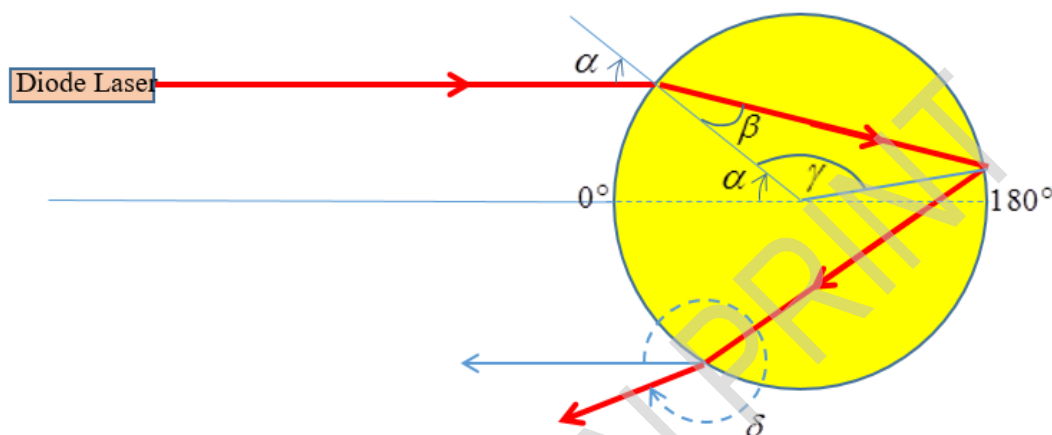
1. Righello da 60 cm di lunghezza
2. cursore che può essere mosso lungo il righello
3. Sorgente laser montata sul cursore. Il laser può essere impostato su due livelli: livello basso, 3A, per la parte A dell'esperimento e livello alto 3B per le parti B e C. L'interruttore on / off del laser è indicato con il simbolo "3C" nella figura.
4. La tensione esercitata dalle viti 4A e 4B controlla la rotazione e, in definitiva, la stabilità dell'apparato. Utilizzare la barra di metallo piccola 4C per cambiare la direzione del laser. Ruotare 4C di 180° per modificare l'altezza del laser. Non ruotare il laser attorno all'asse del fascio, poiché la polarizzazione del fascio è stata già predisposta.
5. Schermo di proiezione: si usano le pareti del cubicolo; si può assumere che le pareti siano perpendicolari una rispetto all'altra.
6. Un rotolo di nastro adesivo da usare per fissare l'apparecchiatura al tavolo
7. Metro flessibile

8. Un set di materiale da disegno: squadrette, goniometro, eccetera
9. Lampada da tavolo
10. Disco trasparente rotondo con un diametro di 20,00 cm, fissato su un goniometro, incollato su una base di legno (da usare nella parte A). Rimuovere i 4 piccoli cubetti attaccati alla base di legno
11. Carta velina, o pergamena, da utilizzare come schermo trasparente, tenendola temporaneamente fissa con la mano sul lato del disco, per consentire di misurare il punto di uscita senza sporcare la superficie del disco (da usare nella parte A dell'esperimento). Inoltre i risultati sono più accurati misurando il punto di uscita del raggio dopo aver disegnato una linea sulla carta come si vede anche nella figura.
12. Un pezzo di legno (12A) e un supporto cilindrico in grado di ruotare attorno al suo asse verticale (12B), per alloggiare il reticolo di diffrazione (12C) o il prisma triangolare (12D).





In questa parte, si misurerà l'indice di rifrazione di un disco trasparente osservando il percorso di un raggio di luce che viene rifratto e riflesso all'interno del disco.



### Una rappresentazione schematica dell'esperimento

## Definizioni e simboli

$\alpha$	Angolo incidente tra il disco e il raggio in ingresso
$2\Delta\alpha$	Allargamento angolare dell'angolo incidente, cioè l'ampiezza dell'intervallo di valori dell'angolo incidente $\alpha$
$\beta$	Angolo di rifrazione all'interno del disco
$\gamma$	$= 180^\circ - 2\beta$
$n$	Indice di rifrazione del materiale di cui è fatto il disco
$N$	Numero di volte in cui il raggio va a colpire il bordo del disco prima di emergere in aria (nello schizzo $N = 3$ )
$\delta$	Angolo tra la direzione opposta a quella del raggio in ingresso e la direzione del raggio in uscita, misurata in senso orario (lo schizzo mostra l'angolo $\delta$ per $N = 3$ )
$2\Delta\delta$	Allargamento angolare di $\delta$

Si può dimostrare che gli angoli  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\delta$  sono legati dalla relazione:

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta) . \quad (1)$$

L'equazione data si può usare senza ricavarla.

Fissare il righeillo al tavolo per controllare l'angolo di incidenza del raggio laser, usando il nastro adesivo, e regolare, quindi, il laser in modo che sia possibile misurare facilmente l'angolo del raggio incidente. Fissare il disco al tavolo incollando il nastro adesivo agli angoli della base di legno e al tavolo. Regolare l'inclinazione con la barra di metallo 4C. Il laser può essere sistemato a due altezze diverse: il livello



basso è da usare per la parte A dell'esperimento, il livello alto per le parti B e C. Il laser è stato sistemato in anticipo in modo che il raggio incidente si trovi nello stato di polarizzazione S (cioè una polarizzazione in cui la riflessione è più alta). **Non si modifichi mai la polarizzazione** del raggio incidente (cioè non si ruoti mai il laser attorno al proprio asse)!

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>A.1</b> | Disegnare schematicamente il sistema mostrando il righello con il cursore, il disco e il percorso del raggio laser. Indicare anche l'angolo di incidenza $\alpha$ . Eseguire una serie di misurazioni comprese nell'intervallo di angoli $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$ , e scrivere nella tabella 1 $\alpha$ , $\Delta\alpha$ , $\delta$ , $\Delta\delta$ .<br>Nota: per misurare $\delta$ , va meglio misurare $\delta/2$ direttamente sul disco. | 1.0pt |
|------------|---|-------|

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>A.2</b> | Usando le misurazioni svolte nel punto precedente, tracciare un grafico opportuno da cui ricavare l'indice di rifrazione $n$ e l'errore sperimentale $\Delta n$ . Può servire calcolare quantità intermedie, e adoperare le colonne vuote della Tabella 1 per queste quantità. Trovare l'indice di rifrazione $n$ e l'errore di misura $\Delta n$ . | 1.0pt |
|------------|---|-------|

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>A.3</b> | Con i dati rilevati in A1, disegnare il grafico di $\delta$ in funzione di $\alpha$ . Indicare per ogni punto disegnato anche le barre d'errore $\Delta\delta$ e $\Delta\alpha$ . Eseguire un'ulteriore misurazione per trovare in modo accurato il minimo valore di $\delta$ , e il corrispondente $\alpha$ . Chiamare questi risultati $\delta_{\min}$ e $\alpha_{\min}$ .<br>Per identificare il punto minimo con la massima precisione, si possono utilizzare le pareti del cubicolo come schermo per proiettare il raggio in uscita. | 0.5pt |
|------------|---|-------|

### Un secondo modo per misurare l'indice di rifrazione

In questa sezione dell'esperimento, verrà sviluppato un metodo alternativo per ottenere dei risultati molto accurati. Anche se si richiede di misurare l'indice di rifrazione al più alto livello di precisione possibile, **non è richiesto di calcolare gli errori di misura**. Ciononostante, si devono ricavare nel dettaglio le formule che si useranno per ottenere il risultato finale. Scrivere tali formule nel foglio risposta.

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>A.4</b> | Basando il ragionamento sull'andamento del grafico disegnato nel punto A3, scegliere l'angolo ottimale per realizzare le misurazioni necessarie per determinare l'indice di rifrazione. Scrivere l'equazione da usare per ottenere l'indice di rifrazione secondo il metodo sviluppato. | 0.7pt |
|------------|---|-------|

- |            |  |       |
|------------|--|-------|
| <b>A.5</b> | Con $N = 3$ , eseguire le misurazioni necessarie per calcolare l'indice di rifrazione con alta precisione, utilizzando il metodo sviluppato in A4 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disegnare uno schema del disco e della traiettoria del raggio di luce. Indicare sullo schema le grandezze che sono state misurate.</li> <li>• Spiegare le misurazioni effettuate.</li> <li>• Effettuare l'analisi delle misurazioni e calcolare l'indice di rifrazione, <math>n</math>, del disco con la massima accuratezza possibile. Si possono adoperare fogli di carta millimetrata aggiuntivi se servissero.</li> </ul> | 0.8pt |
|------------|--|-------|

- A.6** Ripetere il procedimento svolto al punto precedente, per  $N = 4$  ed  $N = 5$  (non si deve disegnare più il sistema e la traiettoria del raggio di luce). 1.5pt
- Documentare le misurazioni fatte con  $N = 4$ .
  - Eseguire l'analisi delle misure con  $N = 4$  e calcolare l'indice di rifrazione  $n$  utilizzando queste misurazioni alla massima precisione ottenibile.
  - Documentare le misurazioni fatte con  $N = 5$ .
  - Eseguire l'analisi delle misure con  $N = 5$  e calcolare l'indice di rifrazione  $n$  utilizzando queste misurazioni alla massima precisione ottenibile.
  - Dai risultati ottenuti per l'indice di rifrazione con  $N = 3$ ,  $N = 4$  ed  $N = 5$  calcolare il valore medio  $\langle n \rangle$  dell'indice di rifrazione.

### Parte B. Il passo di un reticolo di diffrazione (2.5 punti)

In questa parte dell'esperimento non è richiesto il calcolo degli errori di misura.

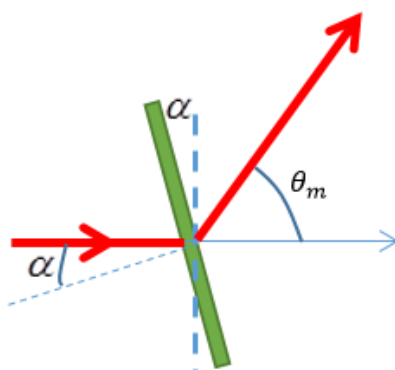
In questa parte dell'esperimento si troverà il rapporto  $\lambda/d$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda del laser e  $d$  è il passo del reticolo (la distanza tra due fenditure adiacenti del reticolo).

Quando un fascio laser passa attraverso un reticolo di diffrazione, l'angolo  $\theta_m$ , fra la direzione del fascio incidente e la direzione in cui si ottiene un massimo di intensità luminosa di ordine  $m$ , è dato da:

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

Dove

$m$	è l'ordine di diffrazione
$\alpha$	è l'angolo di incidenza fra il raggio laser e il reticolo di diffrazione
$\theta_m$	è l'angolo fra la direzione iniziale del raggio laser e quella del massimo di ordine $m$
$d$	è il passo del reticolo, cioè la distanza tra i centri di due fenditure adiacenti del reticolo







Gli ordini di diffrazione elevati consentono una migliore separazione tra le lunghezze d'onda. Pertanto, una misurazione accurata, fatta utilizzando un ordine di diffrazione elevato, riduce l'errore relativo del valore di  $\lambda/d$ .

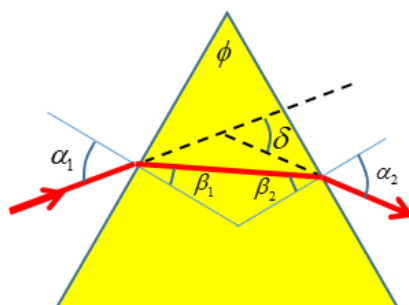
Allentare la vite 4B e modificare l'altezza (livello verticale) del laser, ruotandolo di  $180^\circ$  attorno all'asse orizzontale perpendicolare alla direzione del fascio (fare attenzione ai fili) fino a portarlo alla posizione mostrata in 3B. Questa operazione è necessaria per eseguire le parti B e C dell'esperimento. Utilizzare la barra metallica 4C per la regolazione fine del laser in altezza in modo che questo sia allineato con il reticolo di diffrazione per poter effettuare le misurazioni. Allineare il raggio laser in modo che sia perpendicolare allo schermo. Posizionare il reticolo di diffrazione nella fessura nel supporto indicato 12B. L'orientamento del reticolo di diffrazione è indicato da un adesivo attaccato su un lato del reticolo. Assicurarsi che il lato del reticolo con l'adesivo sia rivolto verso il laser e che l'adesivo sia nella parte superiore del reticolo. Ogni reticolo ha un identificativo ID suo proprio, scritto sull'adesivo. **Trascrivere l'ID del reticolo usato nella casella corrispondente dei fogli risposta.** In questa parte dell'esperimento è utile usare uno schema per misurare simile a quello utilizzato nella seconda sezione della parte A.

- |            |  |       |
|------------|--|-------|
| <b>B.1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Disegnare sul foglio risposte uno schema dell'apparato. Nel disegno, indicare la posizione del laser sul tavolo, il reticolo di diffrazione, la traccia del raggio laser, i punti in cui colpisce lo schermo e le quantità misurate.</li> <li>Eseguire le misurazioni con <math>m = 1</math>. Scrivere i valori delle grandezze misurate. Ricavare il rapporto <math>\lambda/d</math>.</li> <li>Eseguire le misurazioni con <math>m = 2</math>. Scrivere i valori delle grandezze misurate. Ricavare il rapporto <math>\lambda/d</math>.</li> </ul> | 0.7pt |
|------------|--|-------|

- |            |  |       |
|------------|--|-------|
| <b>B.2</b> | <p>Ricavare il rapporto <math>\lambda/d</math> usando ordini di diffrazione grandi (<math>m &gt; 2</math>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disegnare sul foglio risposte due schemi dell'apparato per <math>m = 3</math> e per <math>m = 4</math>. Nel disegno, indicare la posizione del laser, il reticolo di diffrazione, la traccia del raggio laser, i punti in cui colpisce lo schermo e le quantità misurate.</li> <li>Eseguire le misurazioni per entrambi gli ordini <math>m = 3, 4</math>. Scrivere i valori delle grandezze misurate. Per ciascun valore di <math>m</math>, ricavare il rapporto <math>\lambda/d</math>.</li> </ul> | 1.8pt |
|------------|--|-------|

### Parte C. L'indice di rifrazione di un prisma triangolare (2.0 punti)

Considera il prisma a base triangolare approssimativamente equilatera. Le tre facce del prisma sono piane e molto levigate. Gli angoli tra le facce del prisma potrebbero deviare da  $60^\circ$ , ma non più di  $0.7^\circ$ . Non è necessario misurare gli angoli del prisma. L'obiettivo di questa parte dell'esperimento è misurare l'indice di rifrazione del materiale di cui è fatto il prisma. Al fine di ridurre l'errore nell'indice di rifrazione, è possibile usare l'approssimazione degli angoli piccoli ( $\sin x \approx x$ ,  $\cos x \approx 1$  con  $x$  in radianti) per correggere le piccole deviazioni negli angoli tra le facce del prisma. **In questa sezione del problema è richiesto di calcolare gli errori di misura.** La figura mostra un esempio di raggio che entra nel prisma attraverso una faccia ed esce attraverso la successiva.



Posizionare il cursore in un punto opportuno sul tavolo in modo che il laser consenta la massima precisione nelle misurazioni. Posizionare il prisma nel supporto indicato 12B.

**C.1** Nel caso simmetrico, cioè con  $\alpha_1 = \alpha_2$ , per un prisma equilatero vale la relazione seguente  $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$ . 0.4pt

- Individuare un metodo che consenta di trovare l'indice di rifrazione del prisma con la massima precisione.
- Motivare in dettaglio nei fogli risposta le formule che verranno usate per trovare l'indice di rifrazione.

**C.2** 1.6pt

- Scrivere nei fogli risposta le grandezze misurate e i loro valori (compresi gli errori di misura).
- Calcolare l'indice di rifrazione del prisma per la data lunghezza d'onda del laser e l'errore di misura del risultato.