

Misurazione dello spessore mediante birifrangenza (10 punti)

L'analisi dell'incertezza delle misure non è richiesta in questo problema.

La birifrangenza è una proprietà ottica di un cristallo in base alla quale un fascio di luce si propaga come due raggi con indici di rifrazione diversi. Quando gli assi ortogonali x e y del cristallo giacciono nel piano che contiene la faccia d'ingresso di un cristallo birifrangente (Fig. 1), il campo elettrico \mathbf{E} della luce polarizzata linearmente che incide perpendicolarmente sul cristallo viene scomposto in due componenti ortogonali \mathbf{E}_x e \mathbf{E}_y , caratterizzate, rispettivamente, da indice di rifrazione n_o e n_e . Per un cristallo di spessore L , lo sfasamento Γ_x della luce polarizzata lungo l'asse x e quello Γ_y della luce polarizzata lungo l'asse y al loro passaggio attraverso il cristallo sono dati rispettivamente da

$$\Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} n_o L, \quad (1)$$

$$\Gamma_y = \frac{2\pi}{\lambda} n_e L, \quad (2)$$

dove λ è la lunghezza d'onda della luce nel vuoto.

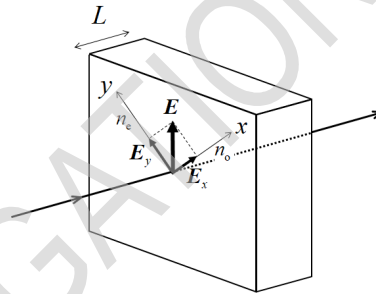


Figura 1: Scomposizione vettoriale del campo elettrico \mathbf{E} della luce polarizzata linearmente che incide perpendicolarmente sulla superficie di un cristallo birifrangente.

La differenza di fase Γ tra i due raggi è

$$\Gamma = \Gamma_y - \Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L, \quad (3)$$

dove

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (4)$$

è la birifrangenza. Poiché il campo elettrico della luce è la somma vettoriale di \mathbf{E}_x e \mathbf{E}_y con una differenza di fase Γ , la luce dopo aver attraversato il cristallo ha una componente di polarizzazione perpendicolare alla polarizzazione lineare iniziale della luce incidente.

Siano I_{\parallel} e I_{\perp} l'intensità delle componenti della luce, dopo il passaggio attraverso il cristallo, parallela e perpendicolare alla direzione della polarizzazione lineare della luce incidente. Di seguito, la direzione della polarizzazione lineare della luce incidente (\mathbf{E} nella Fig. 1) è di 45° rispetto all'asse x . Quindi l'intensità normalizzata della componente perpendicolare I_{Norm} è data da

$$I_{\text{Norm}} = \frac{I_{\perp}}{I_{\text{Total}}} = \sin^2 \frac{\Gamma}{2}, \quad (5)$$

dove I_{Total} è l'intensità totale della luce trasmessa, $I_{\parallel} + I_{\perp}$.

Possiamo progettare un esperimento in modo che I_{Norm} oscilli tra 0 e 1 al variare della lunghezza d'onda della luce incidente. Sia λ_m ($m = 1, 2, 3, \dots$) la lunghezza d'onda alla quale $I_{\text{Norm}} = 0$; si trova la differenza di fase Γ_m tale che

$$\Gamma_m = \frac{2\pi}{\lambda_m} \Delta n(\lambda_m) L = 2\pi m. \quad (6)$$

Questa equazione ci permette di determinare lo spessore del cristallo L se è possibile misurare diversi valori di λ_m , noti i corrispondenti valori di $\Delta n(\lambda_m)$.

In questo esperimento si determinerà lo spessore di una lastra di quarzo. Il quarzo è birifrangente e i suoi indici di rifrazione n_o e n_e dipendono dalla lunghezza d'onda della luce nel vuoto, come illustrato nella Fig. 2.

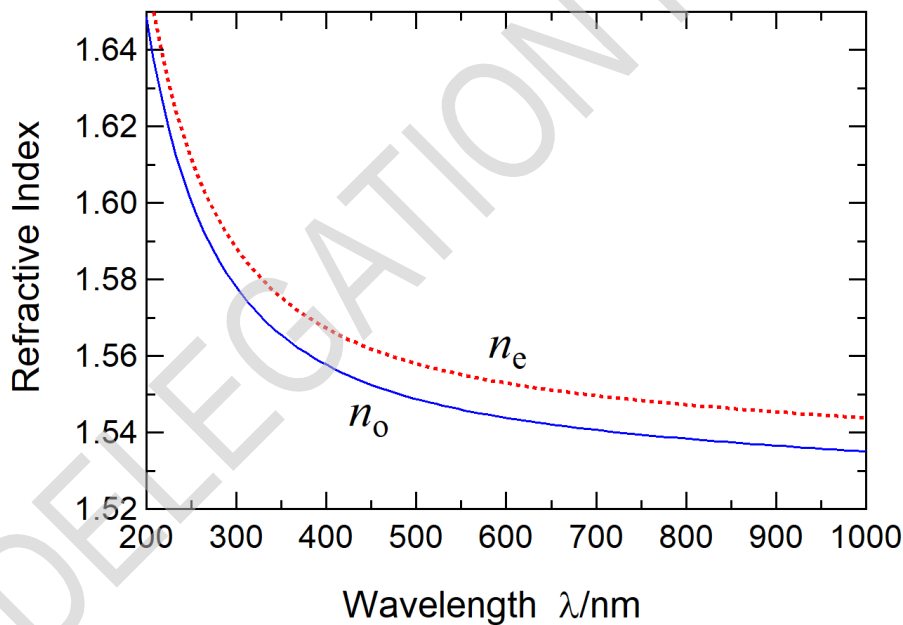


Figura 2: Dipendenza dalla lunghezza d'onda degli indici di rifrazione n_o e n_e del quarzo.

La Figura 3 mostra il dispositivo di misurazione dello spessore. Le figure 4 e 5 mostrano i componenti e i dispositivi optomeccanici e fotonici. Come sorgente luminosa viene utilizzato un diodo a emissione di luce bianca (LED), che contiene un LED blu e una sostanza fosforescente. Quando la luce del LED blu viene irradiata sulla sostanza fosforescente, viene emessa una luce bianca con uno spettro continuo. La luce proveniente da questo LED bianco viene dispersa, cioè risolta spettralmente, utilizzando il reticolo di diffrazione a trasmissione **G** e successivamente viene polarizzata linearmente dal polarizzatore **P1**. La sua direzione di polarizzazione (E nella Fig. 1) è a 45° rispetto all'asse x della lastra di quarzo **Q**. Ruotando il polarizzatore **P2** viene selezionata la componente della polarizzazione della luce dopo il passaggio attraverso **Q**, cioè quella parallela o quella perpendicolare alla direzione di polarizzazione di **P1**. Il fotorilevatore misura l'intensità della luce.

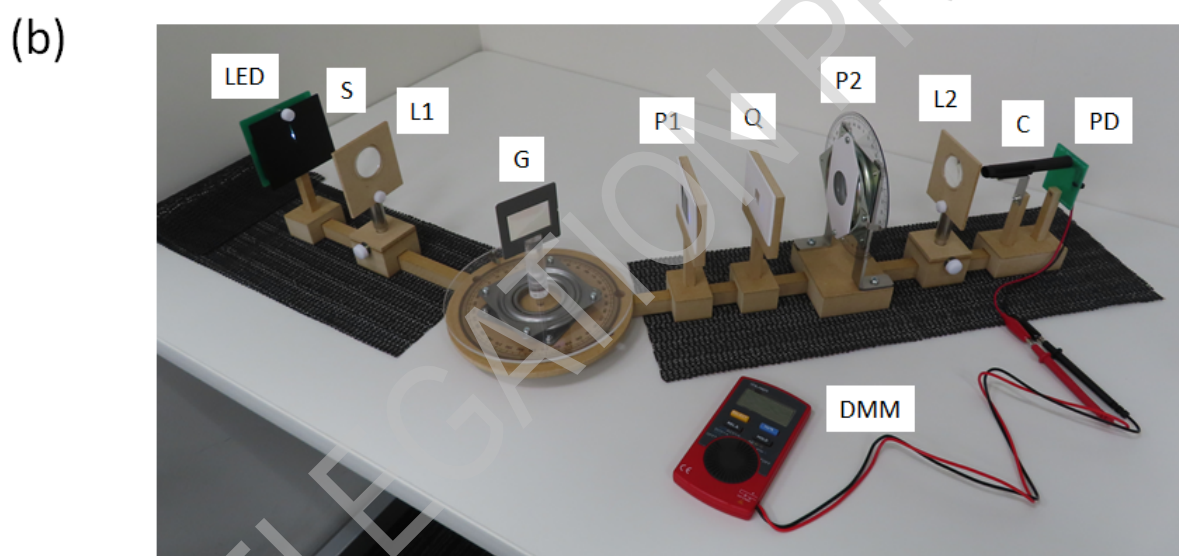
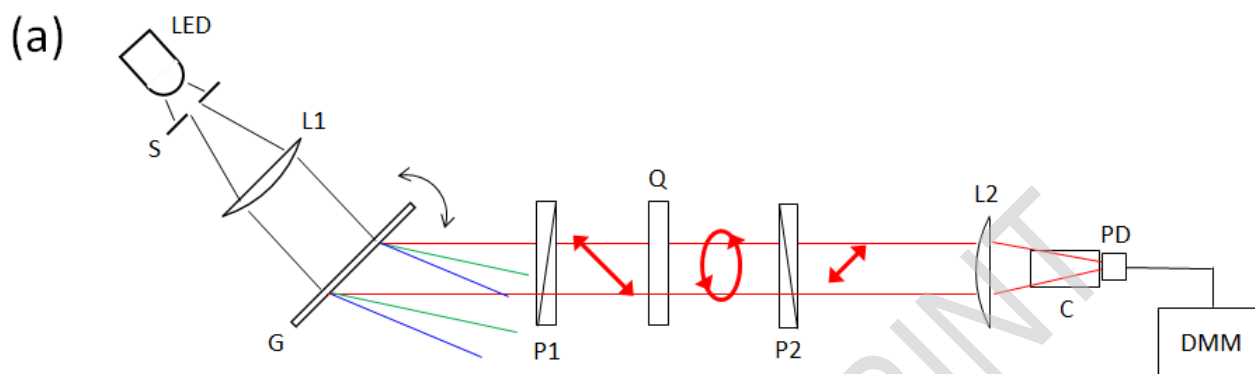


Figura 3: (a) Schema e (b) fotografia del dispositivo di misurazione dello spessore. **LED**: LED bianco, **S**: fenditura, **L1**: lente di collimazione, **G**: reticolo di diffrazione a trasmissione, **P1**: polarizzatore, **Q**: piastra di quarzo, **P2**: polarizzatore, **L2**: lente di messa a fuoco, **C**: cilindro di schermatura della luce, **PD**: fotorivelatore, **DMM**: multimetro digitale.

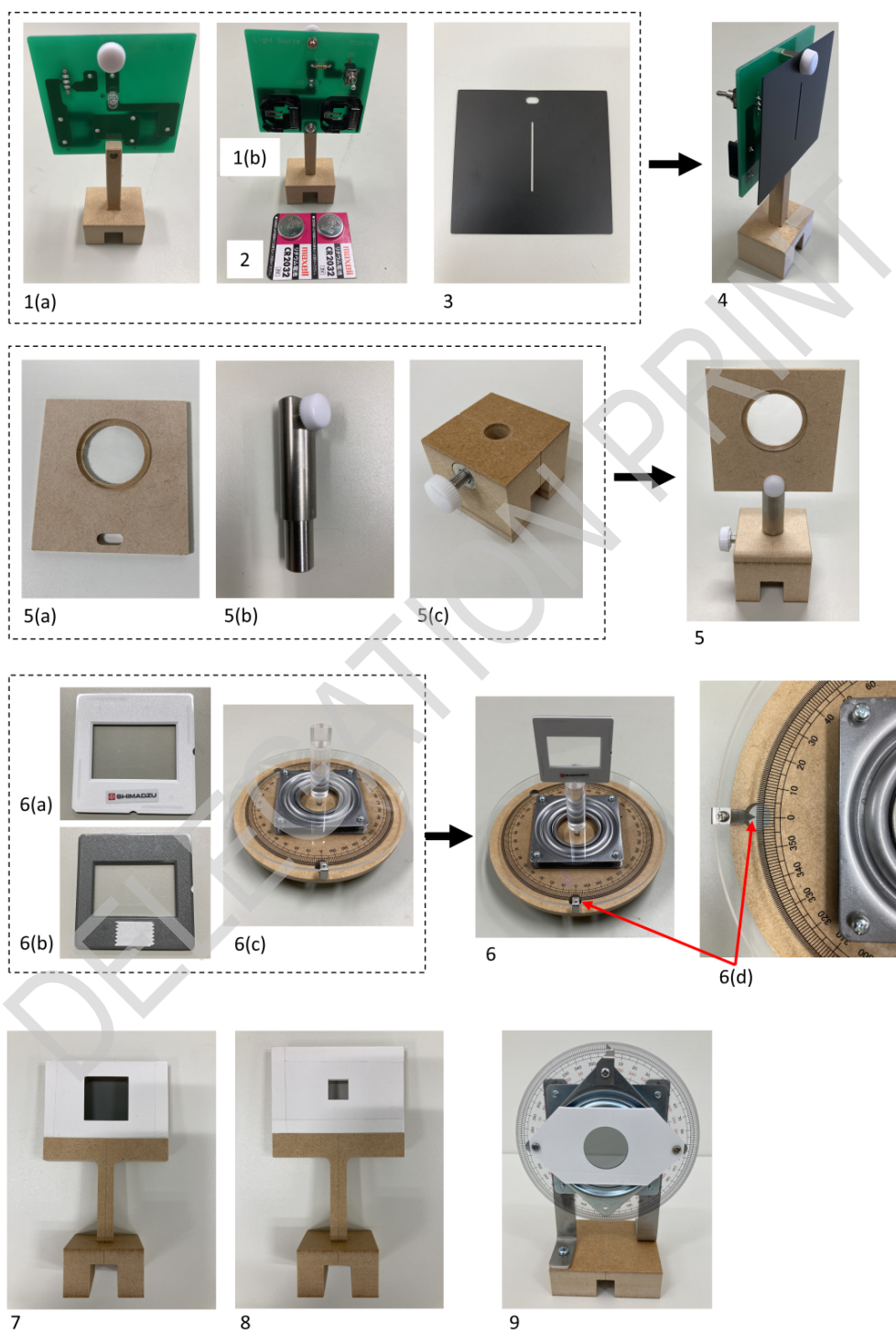


Figura 4: Componenti e dispositivi: **1(a)**. LED bianco (vista frontale); **1(b)**. LED bianco (vista posteriore); **2**. batterie; **3**. fenditura (**S** in Fig. 3); **4**. LED con fenditura attaccata; **5**. lente (**L1**, **L2** in Fig. 3); **5(a)** lente montata; **5(b)** supporto della lente; **5(c)** base del supporto; **6**. reticolo di diffrazione a trasmissione (**6(a)** anteriore; **6(b)** posteriore con nastro adesivo) su **6(c)** piattaforma di rotazione (**G** in Fig. 3); **6(d)** dispositivo di lettura dell'angolo sulla piattaforma di rotazione; **7**. polarizzatore (**P1** nella Fig. 3); **8**. piastra di quarzo (**Q** nella Fig. 3); **9**. polarizzatore sul supporto di rotazione (**P2** nella Fig. 3).



Figura 5: Componenti e dispositivi (continua): **10.** cilindro di protezione dalla luce con magneti (**C** in Fig. 3); **11.** supporto del cilindro; **12.** fotorilevatore (**PD** in Fig. 3); **13.** fotorilevatore con cilindro; **14.** multimetro digitale (**DMM** in Fig. 3); **15.** guida corta; **16.** guida lunga; **17.** schermo con carta millimetrata; **18.** cartoncino bianco; **19.** cartoncino nero; **20.** fogli antiscivolo; **21** & **22.** scatola di protezione dalla luce (prima del montaggio e come è montata).

Parte A. Impostazione del sistema di misura (2.3 punti)

La luce che esce dal LED è incidente sulla superficie del reticolo (Fig. 6). L'angolo di rotazione θ di **G** per l'incidenza normale è fissato a 0° . Le rotazioni in senso antiorario e orario sono indicate rispettivamente con $+$ e $-$. L'angolo di diffrazione al primo ordine α è definito come illustrato. Indicando con d il passo della scanalatura (ossia la distanza tra le fenditure) di **G**, la lunghezza d'onda λ è data in termini di θ come

$$\lambda = d \sin(\alpha - \theta) + d \sin \theta \quad (7)$$

$$= 2d \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \theta \right). \quad (8)$$

Di seguito utilizziamo $d = 1.00 \mu\text{m}$ e l'angolo di diffrazione viene fissato a $\alpha = 40.0^\circ$.

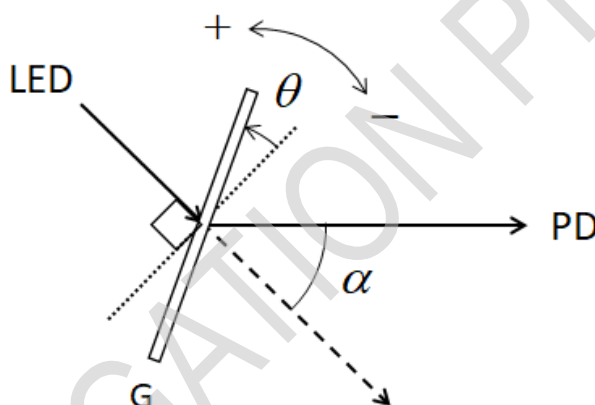


Figura 6: L'angolo di rotazione θ del reticolo di diffrazione in trasmissione **G** e l'angolo di diffrazione α .

- | | | |
|------------|--|--------|
| A.1 | Calcolare la lunghezza d'onda massima λ che può essere misurata e il relativo θ . | 0.3 pt |
| A.2 | Calcolare il valore numerico di θ per $\lambda = 440 \text{ nm}$. | 0.2 pt |

Le procedure di impostazione del sistema di misura sono le seguenti.

- [1] Posizionare verticalmente lo schermo con carta millimetrata (**17** nella Fig. 5) utilizzando il piedistallo (**17(b)**).
- [2] Posizionare due batterie sul modulo LED bianco. Le parti "+" devono essere rivolte verso di voi.
- [3] Accendere il LED.
- [4] Rimuovere la vite sul lato anteriore del modulo LED. Fissare la fenditura al modulo LED con la vite (4 nella Fig. 4). Utilizzando lo schermo con carta millimetrata, regolare la posizione della fenditura in modo che il flusso di luce bianca trasmesso sia il più luminoso possibile e misurare l'altezza del centro del fascio all'uscita della fenditura (per la procedura [9]).
- [5] Fare in modo che l'estremità a forma di U con scanalatura aperta della guida lunga si appoggi a quella della guida corta (Fig. 7(i)). Inserire l'asse di rotazione che fuoriesce dalla faccia inferiore della piattaforma di rotazione nel "foro passante virtuale" creato dalle guide (Fig. 7(ii)). Assicurare una rotazione libera e

Experiment

regolare di entrambi i bracci attorno all'asse, come indicato nella Fig. 7(iii). Assicurarsi che la guida lunga rimanga sul tavolo $0^\circ \leq \alpha \leq 40.0^\circ$.

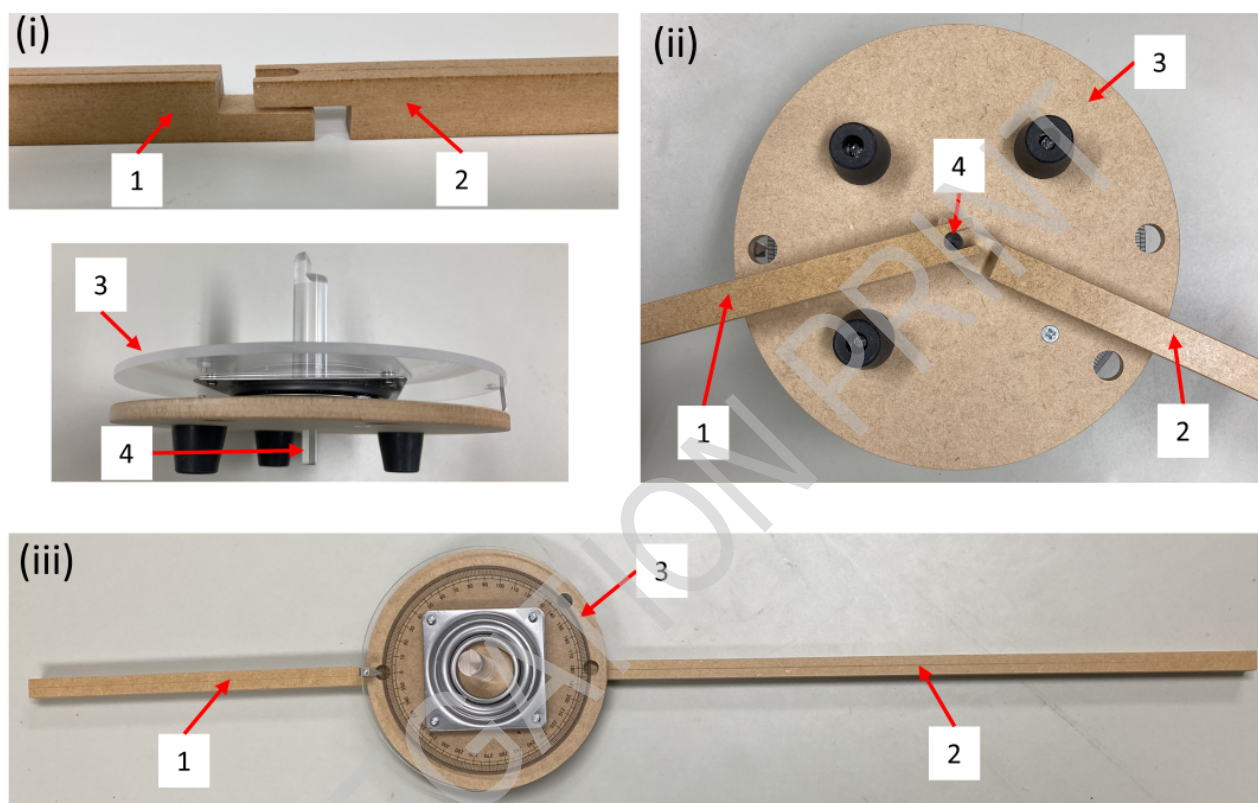


Figura 7: **(i)** L'estremità della guida corta con scanalatura aperta a U sotto quella della guida lunga crea un foro passante "virtuale". **(ii)** Nel foro virtuale, inserire l'asse che fuoriesce dalla faccia inferiore della piattaforma di rotazione. **(iii)** Vista dall'alto della piattaforma di rotazione con le guide libere di ruotare attorno all'asse. 1. guida corta; 2. guida lunga; 3. piattaforma di rotazione; 4. asse della piattaforma rotazione.

[6] Allineare la linea centrale della guida corta con 0° sulla scala della piattaforma di rotazione e mantenerla in tale posizione. È possibile collocare un foglio antiscivolo sotto la guida corta.

[7] Assemblare le lenti (**5** in Fig. 4).

[8] Posizionare il modulo LED bianco con la fenditura e la lente (**L1** nella Fig. 3) sulla guida corta. Regolare la distanza tra la fenditura e **L1** in modo che la dimensione del fascio di luce, dopo aver attraversato **L1**, rimanga pressoché costante, cioè collimata, lungo il percorso della luce.

[9] Utilizzando lo schermo con carta millimetrata, misurare l'altezza del fascio dopo **L1**. Regolare il livello di **L1** allentando la vite di fermo della base del montante e spostando il montante quanto necessario per mantenere l'altezza del fascio quasi uguale a quella subito dopo la fenditura.

[10] Allineare la linea centrale della guida lunga con i 180° della scala angolare sulla piattaforma di rotazione.

[11] Modificare la posizione orizzontale del supporto dell'obiettivo (**5(a)** nella Fig. 4) allentando la vite di fermo e spostandolo a destra o a sinistra. Il centro del fascio dopo **L1** dovrebbe allinearsi con la linea

centrale della guida lunga. È possibile posizionare lo schermo con carta millimetrata capovolto sulla guida lunga.

[12] Attaccare la seconda superficie del nastro biadesivo sul lato posteriore del reticolo di diffrazione a trasmissione (**6(b)**) nella Fig. 4) e fissarlo all'asse superiore della piattaforma di rotazione (**6** nella Fig. 4).

[13] Rivolgere il lato anteriore del reticolo verso la sorgente luminosa e ruotare la piattaforma in modo che la luce riflessa entri nella fenditura, cioè $\theta = 0^\circ$ (incidenza normale). Annotare l'angolo θ_{Stage} della piattaforma di rotazione. Sarà utilizzato nella domanda B.1.

[14] Spostare la guida lunga intorno all'asse in modo che $\alpha = 40.0^\circ$ (Fig. 6). Una volta fissata, è possibile posizionare successivamente un secondo foglio antiscivolo per evitare disallineamenti accidentali.

[15] Posizionare la lente (**L2** nella Fig. 3) e il fotorivelatore (**PD** nella Fig. 3) con il supporto cilindrico sulla guida lunga. Per focalizzare la luce diffratta su **PD**, regolare la distanza tra **PD** e **L2** lungo la guida lunga e l'altezza di **L2**. L'ampiezza verticale del fascio viene così ridotta al minimo. Controllare l'ampiezza del fascio con il cartoncino bianco. Nel caso in cui sia troppo debole per essere riconosciuto a occhio nudo, utilizzare la scatola di schermatura per coprire **PD**.

[16] Applicare il cilindro paraluce al supporto (**13** nella Fig. 5). Lo schermo luminoso riduce al minimo la luce indesiderata da rilevare.

[17] Collegare il **PD** al DMM. Il filo rosso (nero) va al terminale rosso (nero). Impostare il multimetro sulla modalità di misurazione della tensione continua (DC).

[18] Regolare l'altezza di **L2** per massimizzare le letture del DMM. Di seguito, l'intensità della luce è identificata con i valori di tensione sul DMM.

- | | | |
|------------|--|--------|
| A.3 | Ruotare la piattaforma di rotazione e trovare l'angolo θ e la corrispondente lunghezza d'onda alla quale la densità spettrale di emissione del LED blu è massima, assumendo che $\alpha = 40.0^\circ$. Se la risposta ottenuta è compresa tra 450 e 460 nm, l'apparato è correttamente allineato; scrivere $\alpha = 40.0^\circ$ sul foglio delle risposte e continuare. Altrimenti, si dovrà trovare il vero valore di α . Senza cambiare nulla, compreso il valore originale di λ_{Peak} trovato, determinare un valore corretto per cui λ_{Peak} ricada nell'intervallo appropriato. Registrare questo α sul foglio delle risposte e utilizzarlo per il resto del problema. | 0.8 pt |
|------------|--|--------|

[19] Posizionare i polarizzatori (**P1** e **P2** nella Fig. 3) sulla guida lunga.

- | | | |
|------------|---|--------|
| A.4 | Impostare la piattaforma di rotazione sulla posizione $\theta = -15.0^\circ$. Osservare le letture sul DMM e trovare l'angolo φ_\perp del supporto di rotazione del polarizzatore P2 tale per cui la sua direzione di polarizzazione sia perpendicolare a quella della luce trasmessa attraverso il polarizzatore P1 . Da questo risultato, trovare l'angolo φ_\parallel del supporto di rotazione del polarizzatore P2 quando la sua direzione di polarizzazione è parallela a quella del polarizzatore P1 . | 0.3 pt |
| A.5 | Bloccare la luce attraverso la fenditura ponendo il cartoncino nero davanti alla fenditura. In questo modo è possibile valutare il rumore di fondo del sistema, cioè l'offset dell'intensità dallo zero. Definiamo le intensità luminose $I_{\text{Offset } \perp}$ e $I_{\text{Offset } \parallel}$ quando gli angoli del supporto di rotazione del polarizzatore P2 sono rispettivamente φ_\perp e φ_\parallel . Misurare gli offset $I_{\text{Offset } \perp}$ e $I_{\text{Offset } \parallel}$. Si noti che $I_{\text{Offset } \perp}$ e $I_{\text{Offset } \parallel}$ sono dovuti a luce diversa da quella della sorgente luminosa. Questi valori devono essere eliminati per sottrazione per determinare il solo contributo della sorgente luminosa. | 0.2 pt |

- A.6** I_{\perp} e I_{\parallel} si riferiscono alle intensità luminose della sorgente luminosa quando gli angoli del supporto di rotazione del polarizzatore **P2** sono rispettivamente φ_{\perp} e φ_{\parallel} . Misurare le intensità luminose I_{\perp} e I_{\parallel} per $\theta = -15.0^{\circ}$. 0.5 pt

Parte B. Misurazione dell'intensità della luce trasmessa (4.7 punti)

Di seguito, utilizzare i valori di λ calcolati utilizzando il valore corretto di α in **A.3**, se necessario.

- B.1** Posizionare la lastra di quarzo tra i polarizzatori **P1** e **P2** e misurare le intensità della luce trasmessa I_{\perp} e I_{\parallel} a vari angoli θ . Le misure devono coprire completamente l'intervallo di lunghezze d'onda da 440 nm a 660 nm. Tabulare i seguenti parametri: θ_{Stage} (letture dell'angolo dello strumento di rotazione), θ , λ , I_{\perp} , I_{\parallel} , $I_{\text{Total}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$, $I_{\text{Norm}} = I_{\perp}/I_{\text{Total}}$. Si noti che quando il valore di θ_{Stage} aumenta, il valore di θ diminuisce della stessa quantità e viceversa. Non è necessario utilizzare tutte le righe della tabella fornita, ma è opportuno prendere abbastanza dati per ottenere risultati accurati. 2.0 pt
- B.2** Disegnare sul grafico lo spettro del LED bianco, cioè I_{Total} in funzione della lunghezza d'onda. 1.0 pt
- B.3** Trovare $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$, cioè la larghezza a metà altezza dello spettro del LED blu incorporato nel LED bianco. Essa è la larghezza di un picco misurata tra i punti che si trovano a metà dell'intensità massima. 0.2 pt
- B.4** Disegnare sul grafico lo spettro di I_{Norm} . 1.5 pt

Parte C. Analisi delle misure (3.0 punti)

- C.1** Dal grafico I_{Norm} , trovare tutte le lunghezze d'onda alle quali le intensità passano attraverso minimi locali. Il numero d'ordine associato m secondo l'Eq. (6) deve essere indicato sotto la lunghezza d'onda corrispondente. Per determinare la birifrangenza Δn , utilizzare i valori di n_o e n_e indicati nella Tabella 1. 1.5 pt
- C.2** Ottenere lo spessore del campione L . 1.5 pt

Tabella 1: Indici di rifrazione n_o e n_e del quarzo (400-700 nm).

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
400	1.55769	1.56725	434	1.55394	1.56337	467	1.55107	1.56041
401	1.55756	1.56712	435	1.55384	1.56327	468	1.55099	1.56033
402	1.55744	1.56700	436	1.55374	1.56318	469	1.55091	1.56025
403	1.55732	1.56687	437	1.55365	1.56308	470	1.55084	1.56017
404	1.55720	1.56674	438	1.55355	1.56298	471	1.55076	1.56009
405	1.55707	1.56662	439	1.55346	1.56288	472	1.55068	1.56001
406	1.55695	1.56649	440	1.55337	1.56278	473	1.55061	1.55993
407	1.55684	1.56637	441	1.55327	1.56269	474	1.55054	1.55986
408	1.55672	1.56625	442	1.55318	1.56259	475	1.55046	1.55978
409	1.55660	1.56613	443	1.55309	1.56250	476	1.55039	1.55970
410	1.55648	1.56601	444	1.55300	1.56240	477	1.55031	1.55963
411	1.55637	1.56589	445	1.55291	1.56231	478	1.55024	1.55955
412	1.55625	1.56577	446	1.55282	1.56222	479	1.55017	1.55948
413	1.55614	1.56565	447	1.55273	1.56213	480	1.55010	1.55940
414	1.55603	1.56554	448	1.55264	1.56203	481	1.55003	1.55933
415	1.55592	1.56542	449	1.55255	1.56194	482	1.54995	1.55926
416	1.55580	1.56531	450	1.55247	1.56185	483	1.54988	1.55918
417	1.55569	1.56519	451	1.55238	1.56176	484	1.54981	1.55911
418	1.55558	1.56508	452	1.55229	1.56167	485	1.54974	1.55904
419	1.55548	1.56497	453	1.55221	1.56159	486	1.54967	1.55897
420	1.55537	1.56485	454	1.55212	1.56150	487	1.54961	1.55890
421	1.55526	1.56474	455	1.55204	1.56141	488	1.54954	1.55883
422	1.55515	1.56463	456	1.55195	1.56132	489	1.54947	1.55875
423	1.55505	1.56452	457	1.55187	1.56124	490	1.54940	1.55868
424	1.55494	1.56442	458	1.55179	1.56115	491	1.54933	1.55862
425	1.55484	1.56431	459	1.55171	1.56107	492	1.54927	1.55855
426	1.55474	1.56420	460	1.55162	1.56098	493	1.54920	1.55848
427	1.55463	1.56410	461	1.55154	1.56090	494	1.54913	1.55841
428	1.55453	1.56399	462	1.55146	1.56082	495	1.54907	1.55834
429	1.55443	1.56389	463	1.55138	1.56073	496	1.54900	1.55827
430	1.55433	1.56378	464	1.55130	1.56065	497	1.54894	1.55821
431	1.55423	1.56368	465	1.55122	1.56057	498	1.54887	1.55814
432	1.55413	1.56358	466	1.55115	1.56049	499	1.54881	1.55807
433	1.55403	1.56348						

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
500	1.54875	1.55801	534	1.54678	1.55597	567	1.54518	1.55432
501	1.54868	1.55794	535	1.54673	1.55592	568	1.54514	1.55427
502	1.54862	1.55788	536	1.54667	1.55587	569	1.54509	1.55423
503	1.54856	1.55781	537	1.54662	1.55581	570	1.54505	1.55418
504	1.54850	1.55775	538	1.54657	1.55576	571	1.54500	1.55414
505	1.54843	1.55768	539	1.54652	1.55570	572	1.54496	1.55409
506	1.54837	1.55762	540	1.54647	1.55565	573	1.54492	1.55405
507	1.54831	1.55756	541	1.54642	1.55560	574	1.54487	1.55400
508	1.54825	1.55749	542	1.54637	1.55555	575	1.54483	1.55396
509	1.54819	1.55743	543	1.54632	1.55549	576	1.54479	1.55391
510	1.54813	1.55737	544	1.54627	1.55544	577	1.54474	1.55387
511	1.54807	1.55731	545	1.54622	1.55539	578	1.54470	1.55383
512	1.54801	1.55725	546	1.54617	1.55534	579	1.54466	1.55378
513	1.54795	1.55718	547	1.54612	1.55529	580	1.54462	1.55374
514	1.54789	1.55712	548	1.54607	1.55524	581	1.54458	1.55370
515	1.54783	1.55706	549	1.54602	1.55519	582	1.54453	1.55365
516	1.54777	1.55700	550	1.54597	1.55514	583	1.54449	1.55361
517	1.54772	1.55694	551	1.54592	1.55509	584	1.54445	1.55357
518	1.54766	1.55688	552	1.54587	1.55504	585	1.54441	1.55352
519	1.54760	1.55682	553	1.54583	1.55499	586	1.54437	1.55348
520	1.54754	1.55676	554	1.54578	1.55494	587	1.54433	1.55344
521	1.54749	1.55671	555	1.54573	1.55489	588	1.54429	1.55340
522	1.54743	1.55665	556	1.54568	1.55484	589	1.54425	1.55336
523	1.54738	1.55659	557	1.54564	1.55479	590	1.54421	1.55331
524	1.54732	1.55653	558	1.54559	1.55474	591	1.54417	1.55327
525	1.54726	1.55648	559	1.54554	1.55470	592	1.54413	1.55323
526	1.54721	1.55642	560	1.54550	1.55465	593	1.54409	1.55319
527	1.54715	1.55636	561	1.54545	1.55460	594	1.54405	1.55315
528	1.54710	1.55631	562	1.54541	1.55455	595	1.54401	1.55311
529	1.54705	1.55625	563	1.54536	1.55451	596	1.54397	1.55307
530	1.54699	1.55619	564	1.54531	1.55446	597	1.54393	1.55303
531	1.54694	1.55614	565	1.54527	1.55441	598	1.54389	1.55299
532	1.54688	1.55608	566	1.54522	1.55437	599	1.54385	1.55295
533	1.54683	1.55603						

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
600	1.54382	1.55291	634	1.54260	1.55165	667	1.54157	1.55059
601	1.54378	1.55287	635	1.54257	1.55162	668	1.54154	1.55056
602	1.54374	1.55283	636	1.54254	1.55159	669	1.54151	1.55053
603	1.54370	1.55279	637	1.54250	1.55155	670	1.54148	1.55050
604	1.54366	1.55275	638	1.54247	1.55152	671	1.54145	1.55047
605	1.54363	1.55271	639	1.54244	1.55148	672	1.54143	1.55044
606	1.54359	1.55267	640	1.54241	1.55145	673	1.54140	1.55041
607	1.54355	1.55264	641	1.54237	1.55142	674	1.54137	1.55038
608	1.54351	1.55260	642	1.54234	1.55138	675	1.54134	1.55035
609	1.54348	1.55256	643	1.54231	1.55135	676	1.54131	1.55032
610	1.54344	1.55252	644	1.54228	1.55132	677	1.54128	1.55029
611	1.54340	1.55248	645	1.54224	1.55128	678	1.54125	1.55026
612	1.54337	1.55245	646	1.54221	1.55125	679	1.54123	1.55023
613	1.54333	1.55241	647	1.54218	1.55122	680	1.54120	1.55020
614	1.54330	1.55237	648	1.54215	1.55119	681	1.54117	1.55017
615	1.54326	1.55233	649	1.54212	1.55115	682	1.54114	1.55014
616	1.54322	1.55230	650	1.54209	1.55112	683	1.54111	1.55011
617	1.54319	1.55226	651	1.54206	1.55109	684	1.54109	1.55009
618	1.54315	1.55222	652	1.54202	1.55106	685	1.54106	1.55006
619	1.54312	1.55219	653	1.54199	1.55102	686	1.54103	1.55003
620	1.54308	1.55215	654	1.54196	1.55099	687	1.54100	1.55000
621	1.54305	1.55211	655	1.54193	1.55096	688	1.54098	1.54997
622	1.54301	1.55208	656	1.54190	1.55093	689	1.54095	1.54994
623	1.54298	1.55204	657	1.54187	1.55090	690	1.54092	1.54992
624	1.54294	1.55201	658	1.54184	1.55087	691	1.54090	1.54989
625	1.54291	1.55197	659	1.54181	1.55083	692	1.54087	1.54986
626	1.54287	1.55193	660	1.54178	1.55080	693	1.54084	1.54983
627	1.54284	1.55190	661	1.54175	1.55077	694	1.54081	1.54980
628	1.54280	1.55186	662	1.54172	1.55074	695	1.54079	1.54978
629	1.54277	1.55183	663	1.54169	1.55071	696	1.54076	1.54975
630	1.54274	1.55179	664	1.54166	1.55068	697	1.54073	1.54972
631	1.54270	1.55176	665	1.54163	1.55065	698	1.54071	1.54969
632	1.54267	1.55172	666	1.54160	1.55062	699	1.54068	1.54967
633	1.54264	1.55169				700	1.54066	1.54964