

Bestimmung der Dicke eines Kristalls mittels Doppelbrechung (Birefringence) (10 Punkte)

Eine Analyse der Messunsicherheiten ist in dieser Aufgabe nicht erforderlich.

Doppelbrechung ist eine optische Eigenschaft eines Kristalls, bei der sich ein Lichtbündel in zwei Teilbündel trennt; die Ursache dafür liegt in unterschiedlichen Brechungsindizes für die unterschiedlichen Teilrichtungen. Wenn die orthogonalen Achsen des Kristalls x und y in der Ebene der Einfallsoberfläche eines doppelbrechenden Kristalls liegen (Abb. 1), wird das elektrische Feld \mathbf{E} von linear polarisiertem Licht bei senkrechtem Einfall auf den Kristall in zwei orthogonale Komponenten \mathbf{E}_x und \mathbf{E}_y zerlegt, die den Brechungsindizes n_o bzw. n_e unterliegen. Für einen Kristall mit der Dicke L ist die Phasenverschiebung des x -polarisierten Lichts Γ_x und die des y -polarisierten Lichts Γ_y beim Durchgang durch den Kristall jeweils gegeben durch

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

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

wobei λ die Wellenlänge des Lichts im Vakuum ist.

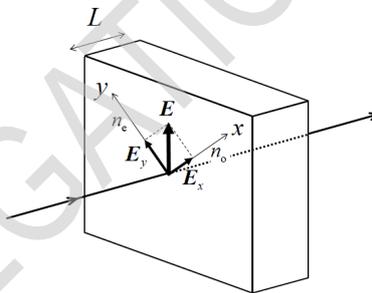


Abbildung 1: Vektorielle Zerlegung des elektrischen Feldes \mathbf{E} des linear polarisierten Lichts bei senkrechtem Einfall auf die Oberfläche eines doppelbrechenden Kristalls.

Die Phasendifferenz Γ zwischen den beiden Strahlen beträgt

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

wobei

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

ein Maß für die Doppelbrechung ist. Da das elektrische Feld des Lichts die vektorielle Summe von \mathbf{E}_x und \mathbf{E}_y mit einer Phasendifferenz Γ ist, hat das Licht nach dem Durchgang durch den Kristall auch eine Polarisationskomponente, die senkrecht zur ursprünglichen linearen Polarisation des einfallenden Lichts steht.

I_{\parallel} und I_{\perp} bezeichnen die Intensitäten der Komponenten des Lichts nach dem Durchgang durch den Kristall, die parallel und senkrecht zur Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahls sind. Im Folgenden

wird die Richtung der linearen Polarisation des einfallenden Lichts (E in Abb. 1) mit 45° bezogen auf die x -Achse des Quarzes festgelegt. Die normierte Intensität der senkrechten Komponente I_{Norm} ist dann gegeben durch

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

wobei I_{Total} die gesamte übertragene Lichtintensität $I_{\parallel} + I_{\perp}$ ist.

Ein Experiment kann so gestaltet werden, dass I_{Norm} zwischen Werten von 0 bis 1 pendelt, wenn die Wellenlänge des einfallenden Lichts verändert wird. Für $I_{\text{Norm}} = 0$ nimmt λ konkrete Werte λ_m ($m = 1, 2, 3, \dots$) an, mit deren Hilfe die Phasendifferenz Γ_m gefunden werden kann. Dabei gilt:

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

Mit Hilfe mehrerer λ_m und den daraus resultierenden $\Delta n(\lambda_m)$ lässt sich die Kristalldicke L bestimmen.

In diesem Experiment wird eine Quarzplatte verwendet und deren Dicke bestimmt. Quarz ist doppelbrechend, seine Brechungsindizes n_o und n_e hängen von der Wellenlänge des Lichts in Vakuum ab, wie in Abb. 2 dargestellt.

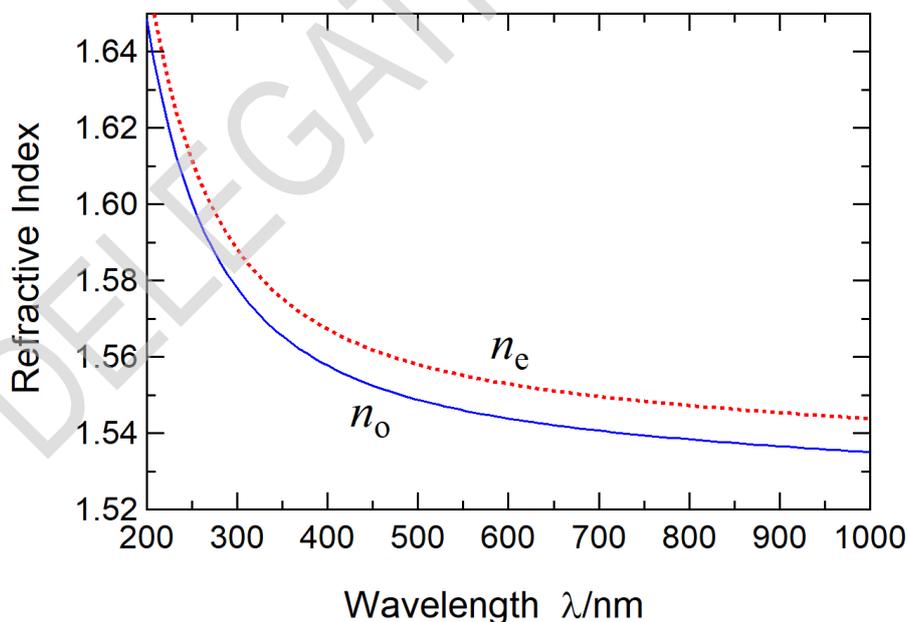


Abbildung 2: Die Abhängigkeit der Brechungsindizes n_o und n_e von der Wellenlänge für Quarz.

Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau zur Messung der Kristalldicke. In den Abbildungen 4 und 5 sind die optischen Komponenten und Geräte zu sehen. Als Lichtquelle wird eine weiße Leuchtdiode (LED) verwendet. (Diese besteht aus einer blauen LED und einem Leuchtstoff. Wenn das Licht der blauen LED auf den Leuchtstoff trifft, wird weißes Licht mit einem kontinuierlichen Spektrum emittiert.) Das Licht dieser weißen LED wird mit Hilfe des Transmissionsbeugungsgitters G gestreut, d. h. spektral aufgefächert, und durch den Polarisator $P1$ linear polarisiert. Die einfallende Polarisationsrichtung (E in Abb. 1) ist um 45° gegenüber der x -Achse des Quarzkristalls Q gedreht. Die Polarisationskomponente des Lichts nach dem

Experiment

Durchgang durch **Q**, d. h. parallel und senkrecht zur Polarisationsrichtung von **P1**, wird durch Drehen des Polarisators **P2** ausgewählt. Der Photodetektor misst die Lichtintensität.

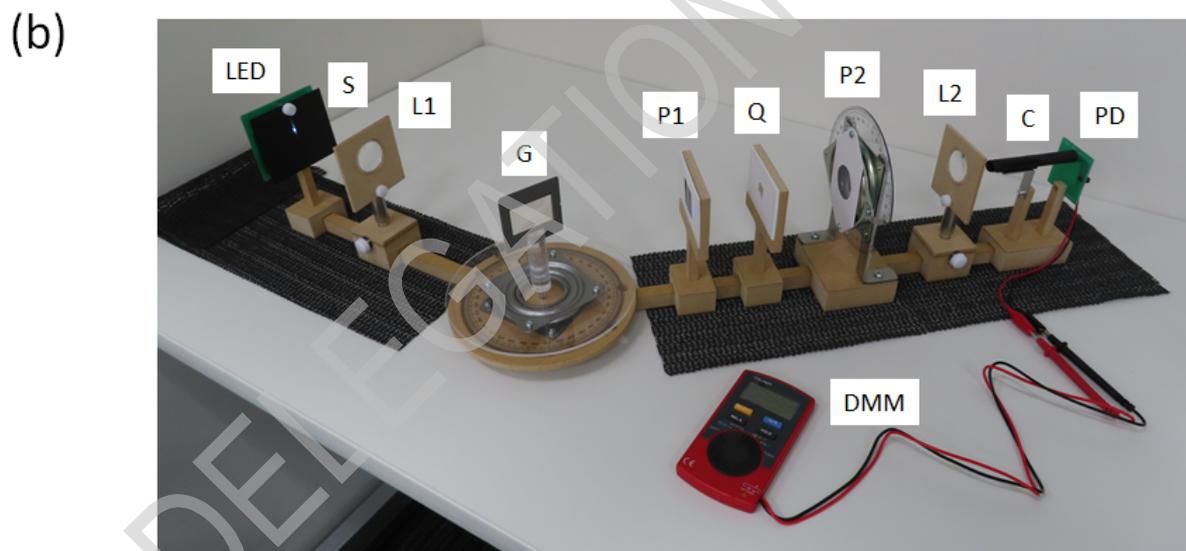
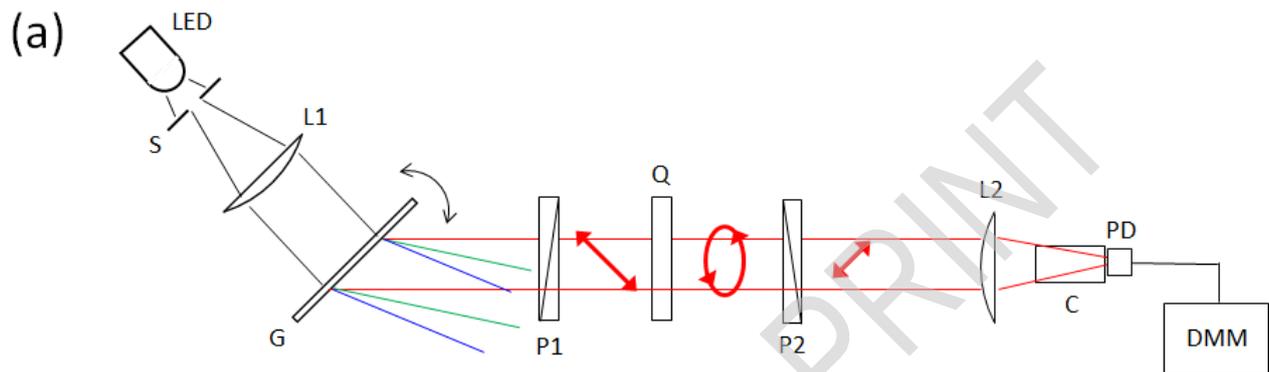


Abbildung 3: (a) Schematische Darstellung und (b) Foto des Messaufbaus zu bestimmung der Kristalldicke **LED**: weiße LED, **S**: Einfach-Spalt, **L1**: Sammellinse als Kollimationslinse, **G**: Transmissionsbeugungsgitter, **P1**: Polarisator, **Q**: Quarzplatte, **P2**: Polarisator, **L2**: Sammellinse als Fokussierlinse, **C**: Zylinder zum Abschirmen des Detektors (Streulichtblende), **PD**: Photodetektor, **DMM**: Digitales Multimeter.

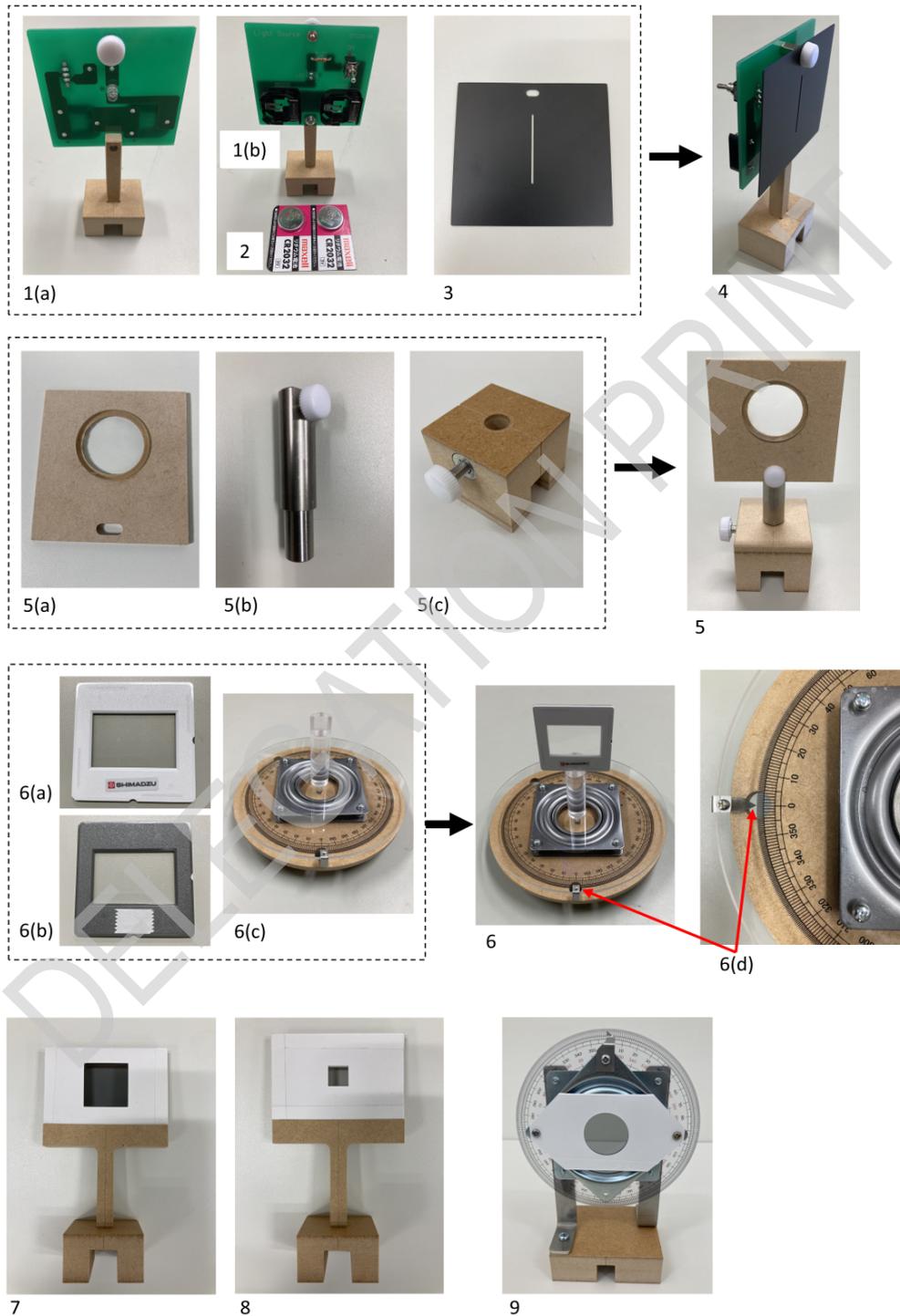


Abbildung 4: Komponenten und Geräte: **1(a)**. weiße LED (Frontalansicht); **1(b)**. weiße LED (Rückansicht); **2**. Batterien; **3**. Einfach-Spalt (**S** in Abb. 3); **4**. LED mit angebrachtem Einfach-Spalt; **5**. Linse (**L1**, **L2** in Abb. 3); **5(a)** montierte Linse; **5(b)** Linsenstativstange; **5(c)** Stativhalter (Reiter); **6**. Transmissionsbeugungsgitter (**6(a)** vorne; **6(b)** hinten (mit doppelseitigem Klebeband) **6(c)** Drehtisch (**G** in Abb. 3); **6(d)** Winkelmesser auf dem Drehtisch; **7**. Polarisator (**P1** in Abb. 3); **8**. Quarzkristall (Scheibe) (**Q** in Abb. 3); **9**. Polarisator auf der Drehhalterung (**P2** in Abb. 3).



Abbildung 5: Komponenten und Geräte (Fortsetzung): **10.** Lichtschutzzylinder mit Magnet (**C** in Abb. 3); **11.** Zylinderhalterung; **12.** Photodetektor (**PD** in Abb. 3); **13.** Photodetektor mit Zylinder; **14.** Digitales Multimeter (**DMM** in Abb. 3); **15.** kurze Führungsschiene; **16.** lange Führungsschiene; **17.** Skalierungs-Schirm (mit Millimeterpapier); **18.** weiße Karte; **19.** schwarze Karte; **20.** Antirutschmatte; **21** & **22.** Abschirmung gegen unerwünschten Lichteinfall (vor dem Zusammenbau und im zusammengebauten Zustand).

Teil A. Einrichtung des Messsystems (System Setup) (2,3 Punkte)

Der Lichtstrahl der LED fällt auf die Oberfläche des Beugungsgitters (Abb. 6). Der Drehwinkel θ von **G** ist bei senkrechtem Einfall mit 0° definiert. Die Winkel gegen den Uhrzeigersinn und im Uhrzeigersinn werden mit + bzw. – bezeichnet. Der Beugungswinkel 1. Ordnung α ist wie abgebildet definiert. Unter Verwendung der Gitterkonstante d des Beugungsgitters **G** wird die Wellenlänge λ in Abhängigkeit von θ angegeben als

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

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

Im Folgenden werden für die Gitterkonstante $d = 1.00 \mu\text{m}$ und den Beugungswinkel $\alpha = 40.0^\circ$ verwendet bzw. eingestellt.

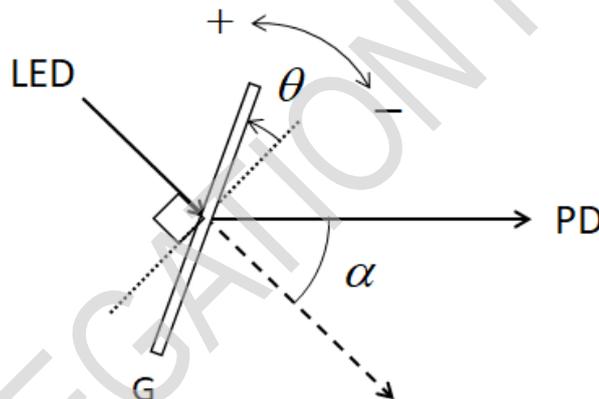


Abbildung 6: Der Drehwinkel θ des Transmissionsbeugungsgitters **G** und der Beugungswinkel α .

A.1	Berechne die längste messbare Wellenlänge λ und den dazu gehörigen Drehwinkel θ .	0.3pt
------------	--	-------

A.2	Berechne das numerische Resultat von θ für $\lambda = 440 \text{ nm}$.	0.2pt
------------	--	-------

Das Messsystem wird wie folgt eingerichtet:

- [1] Stelle den Skalierungsschirm (**17** in Abb. 5) mit Hilfe des Sockels (**17(b)**) aufrecht hin.
- [2] Setze die beiden Batterien in das weiße LED-Modul ein. Die "+"-Seiten müssen nach innen schauen.
- [3] Schalte die LED ein.
- [4] Entferne die Schraube auf der Vorderseite des LED-Moduls, um den Einfach-Spalt mit dieser Schraube auf der Vorderseite des LED-Moduls zu befestigen (**4** in Abb. 4). Stelle den Spalt mit Hilfe des Skalierungsschirms so ein, dass ein Maximum an Licht durchkommt und miss die Höhe der Strahlmitte am Ausgang des Spalts (für den Vorgangsschritt [9]).

Experiment

[5] Lege die Enden der beiden Führungsschienen übereinander (Abb. 7(i)) und stelle den Drehtisch mit der Drehachse (Abb. 7(ii)) in das entstandene "Loch". Stelle sicher, dass sich beide Arme frei und gleichmäßig um die Achse drehen können (siehe Abb. 7(iii)). Stelle sicher, dass der Aufbau Winkel von $0^\circ \leq \alpha \leq 40.0$ erlaubt.

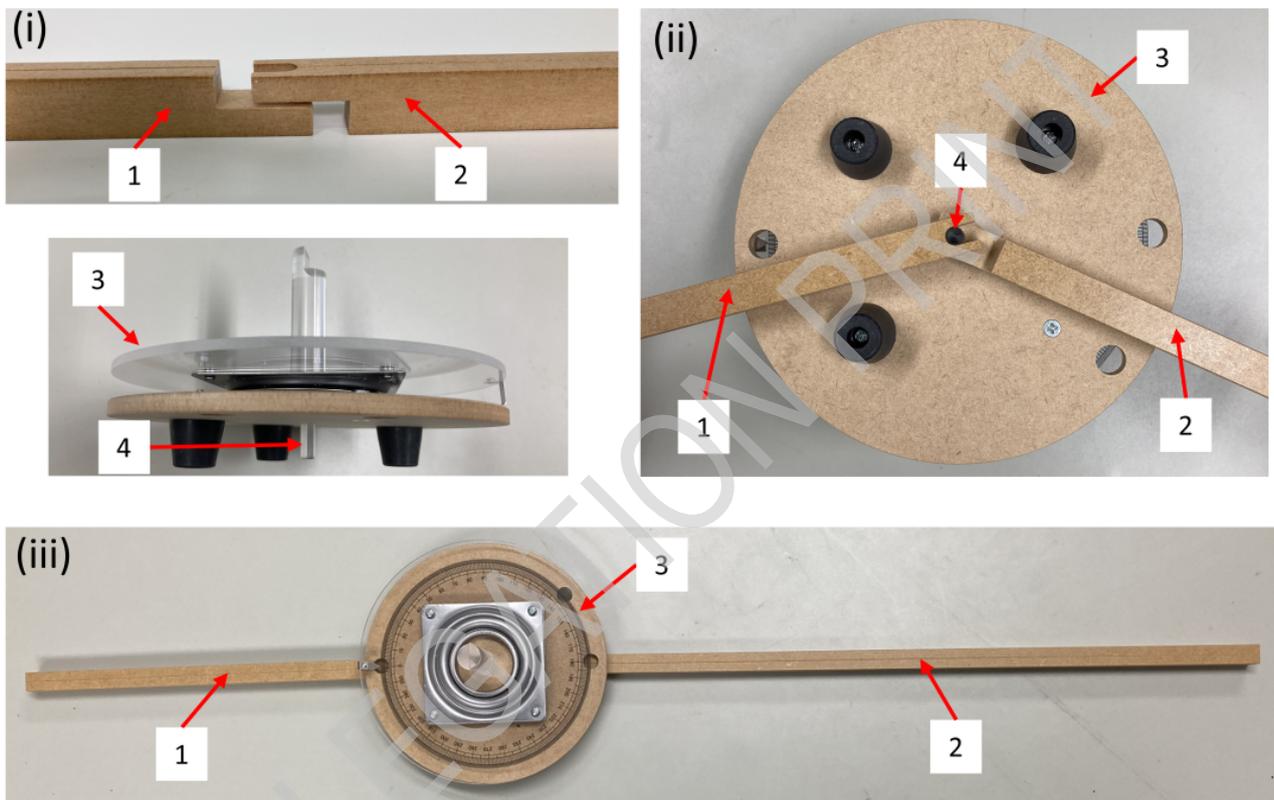


Abbildung 7: (i) Verbindung der Führungsschienen. (ii) In das virtuelle Loch wird die Drehachse eingeführt, die aus der Unterseite des Drehtisches herausragt. (iii) Draufsicht auf den Drehtisch mit Führungsschienen, die sich frei um die Achse drehen können. 1. kurze Führungsschiene; 2. lange Führungsschiene; 3. der Drehtisch; 4. die Achse des Drehtisches.

[6] Der Drehtisch ist so auszurichten, dass der Winkelmesser mit 0° zu der kurzen Führungsschiene steht. Diese Position soll beibehalten werden und kann mit Hilfe der Anti-Rutsch-Matte, die unter die Schiene gelegt wird, fixiert werden.

[7] Montieren der Linsen (5 in Abb. 4).

[8] Setze das weiße LED-Modul mit dem Einfach-Spalt und der Linse (**L1** in Abb. 3) auf die kurze Führungsschiene. Stelle den Abstand zwischen dem Spalt und **L1** so ein, dass die Größe des Lichtstrahls nach dem Durchgang durch **L1** in Ausbreitungsrichtung nahezu konstant, d. h. kollimiert, bleibt.

[9] Kontrolliere mit Hilfe des Skalierungsschirms die Höhe des Lichtstrahls nach **L1**. Die Höhe von **L1** kann über die Stellschraube des Stativs adaptiert werden, so dass die Höhe des Lichtstrahls annähernd demjenigen direkt nach dem Spalt entspricht.

[10] Richte die lange Führungsschiene auf 180° anhand des Winkelmessers des Drehtisches aus.

[11] Um den Strahl horizontal auszurichten, kann die Stellschraube der Objektivhalterung (**5(a)** in Abb. 4) verwendet werden. Nach **L1** soll die Strahlmitte entlang der Führungsschiene verlaufen. Dafür kann der Skalierungsschirm zu Hilfe genommen werden.

[12] Befestige das Transmissionsbeugungsgitters mit Hilfe des Klebebandes, das bereits auf dem Gitter befestigt ist (**6(b)** in Abb. 4), an der oberen Achse des Drehtisches (**6** in Abb. 4).

[13] Richte die Vorderseite des Transmissionsbeugungsgitters auf die Lichtquelle und drehe den Tisch so, dass das reflektierte Licht in den Spalt eintritt, d. h. $\theta = 0^\circ$ (senkrechter Lichteinfall). Notiere den Winkel θ_{stage} des Drehtisches. Er wird in B.1 verwendet.

[14] Rotiere die lange Führungsschiene so um die Drehachse, dass $\alpha = 40.0^\circ$ (Abb. 6). Nach dem Ausrichten kann diese Position ebenfalls durch Unterlegen der Anti-Rutsch-Matte fixiert werden.

[15] Setze die Linse (**L2** in Abb. 3) und der Photodetektor (**PD** in Abb. 3) mit der Zylinderhalterung der Streulichtblende auf die lange Schiene. Um den gebeugten Lichtstrahl auf **PD** zu fokussieren, wird der Abstand zwischen **PD** und **L2** entlang der langen Schiene sowie die Höhe von **L2** adaptiert. Der vertikale Strahldurchmesser soll dadurch minimiert werden. Überprüfe den Strahldurchmesser mit der weißen Karte. Falls der Strahl zu schwach ist, um ihn mit bloßem Auge zu erkennen, verwende die Abschirmung gegen unerwünschten Lichteinfall (schwarze Box), um **PD** abzudecken.

[16] Befestige die Streulichtblende (Zylinder) an der Halterung (**13** in Abb. 5). Die Lichtabschirmung minimiert das Detektieren von unerwünschtem Licht.

[17] Schließe den **PD** an das DMM an. Die rote (schwarze) Verbindungskabel wird an die rote (schwarze) Klemme angeschlossen. Stelle das Multimeter auf Gleichspannung ein.

[18] Adaptiere die Höhe von **L2** so, dass die DMM-Messwerte maximiert werden. Im Folgenden wird die Lichtintensität mit den Spannungswerten auf dem DMM identifiziert.

A.3 Durch Drehen des Drehtisches soll jener Winkel θ ermittelt werden, dem die Wellenlänge λ_{peak} entspricht, bei der die Intensität der LED maximal ist. Wenn dein Wert zwischen 450 und 460nm liegt (blauer Anteil der LED) ist deine Messanordnung korrekt ausgerichtet. In diesem Fall notiere $\alpha = 40.0$ in deinem Antwortblatt und fahre mit der nächsten Teilaufgabe fort. Anderfalls, muss der korrekte Wert für α ermittelt werden. Ohne irgendetwas zu ändern, einschließlich deines ursprünglichen Wertes für λ_{peak} , finde einen korrigierten Wert für α , der λ_{peak} in den richtigen Bereich fallen lässt. Notiere diesen Wert α auf dem Antwortblatt und verwenden diesen für den Rest der Aufgabe. 0.8pt

[19] Setze die Polarisatoren (**P1** und **P2** in Abb. 3) auf die lange Führungsschiene.

A.4 Stelle den Drehtisch auf die Position $\theta = -15.0^\circ$. Durch Variation der Ausrichtung des Polarisators **P2** soll unter Beobachtung der Werte, die auf dem DMM angezeigt werden, der Winkel φ_{\perp} ermittelt werden, bei dem die Polarisationsrichtung senkrecht zu jener des Lichtstrahls ist, der durch **P1** polarisiert wurde. Anhand dieses Ergebnisses soll der Winkel φ_{\parallel} ermittelt werden, bei dem die Polarisationsrichtung parallel zu jener des Lichtstrahls ist, der durch **P1** polarisiert wurde. 0.3pt

A.5	Blockiere den Lichtstrahl durch den Spalt, indem du die schwarze Karte vor den Spalt legst. Auf diese Weise kann das Hintergrundrauschen, d. h. die Abweichung der Intensität von Null, ermittelt werden. Die Lichtintensitäten $I_{\text{Offset } \perp}$ und $I_{\text{Offset } \parallel}$ werden gemessen, wenn die Winkel der Drehhalterung des Polarisators P2 φ_{\perp} bzw. φ_{\parallel} betragen. Miss die Offsets $I_{\text{Offset } \perp}$ und $I_{\text{Offset } \parallel}$. Beachte, dass $I_{\text{Offset } \perp}$ und $I_{\text{Offset } \parallel}$ auf Lichtquellen zurückzuführen sind, die nicht im Versuchsaufbau vorgesehen sind. Sie sind durch Subtraktion zu eliminieren, um den tatsächlichen Beitrag der Lichtquelle zu ermitteln.	0.2pt
A.6	I_{\perp} und I_{\parallel} beziehen sich auf die Lichtintensitäten der Lichtquelle, wenn die Winkel der Drehhalterung des Polarisators P2 φ_{\perp} bzw. φ_{\parallel} sind. Miss die Lichtintensitäten I_{\perp} und I_{\parallel} für $\theta = -15.0^{\circ}$.	0.5pt

Teil B. Messung der transmittierten Lichtintensität (4,7 Punkte)

Im Folgenden werden (sofern erforderlich) die Werte von λ verwendet, die mittels des korrigierten Wertes von α in **A.3** ermittelt wurden.

B.1	Stelle die Quarzplatte zwischen die Polarisatoren P1 und P2 und miss die durchgelassenen Lichtintensitäten I_{\perp} und I_{\parallel} unter verschiedenen Winkeln θ . Deine Messungen sollten den Wellenlängenbereich von 440 nm bis 660 nm vollständig abdecken. Notiere dabei folgenden Parameter: θ_{Stage} , θ , λ , I_{\perp} , I_{\parallel} , $I_{\text{Total}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$, $I_{\text{Norm}} = I_{\perp} / I_{\text{Total}}$. Beachte, dass, wenn der Wert von θ_{Stage} zunimmt, der Wert von θ um denselben Wert abnimmt und umgekehrt. Es muss nicht jede Zeile der bereitgestellten Tabelle verwendet werden, aber es sollten genügend Daten genommen werden, um genaue Ergebnisse zu erhalten.	2.0pt
B.2	Trage das Spektrum der weißen LED, d. h. I_{Total} , in Abhängigkeit von der Wellenlänge in das Diagramm ein.	1.0pt
B.3	Ermittle die Halbwertsbreite $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ des Spektrums der blauen LED, die in die weiße LED eingebaut ist. Es ist die Breite einer Spitze, die zwischen den Punkten gemessen wird, die bei der Hälfte der maximalen Amplitude liegen.	0.2pt
B.4	Trage das Spektrum von I_{Norm} in das Diagramm ein.	1.5pt

Teil C. Analyse der gemessenen Ergebnisse (3,0 Punkte)

C.1	Aus dem Diagramm I_{Norm} sind alle Wellenlängen zu ermitteln, bei denen die Intensitäten lokale Minima durchlaufen. Die zugehörige Ordnungszahl m nach Gl. (6) muss unter der entsprechenden Wellenlänge angegeben werden. Zur Bestimmung des Maßes für Doppelbrechung Δn sind die in Tabelle 1 angegebenen Werte von n_o und n_e zu verwenden.	1.5pt
------------	---	-------

C.2 Ermittle die Probendicke L .

1.5pt

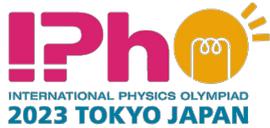
DELEGATION PRINT

Tabelle 1: Brechungsindizes n_o und n_e von Quarz (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						

Experiment



Q2-13

Austrian German (Austria)

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