

Измерение толщины с помощью двулучепреломления (10 баллов)

В этой задаче не требуется оценивать погрешности.

Двулучепреломление – оптическое свойство кристалла в соответствии с которым свет в кристалле распространяется вдоль двух лучей, которым отвечают различные показатели преломления. Пусть две перпендикулярные оси x и y лежат в плоскости, параллельной поверхности двулучепреломляющего кристалла (рис. 1). Тогда электрическое поле E линейно поляризованного света, падающего на кристалл по нормали к поверхности, можно разложить на две перпендикулярные компоненты E_x и E_y , которым отвечают показатели преломления n_o и n_e соответственно. Если толщина кристалла равна L , фазовый сдвиг после прохождения кристалла равен Γ_x в случае поляризации вдоль оси x и Γ_y в случае поляризации вдоль оси y .

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

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

где λ – длина волны света в вакууме.

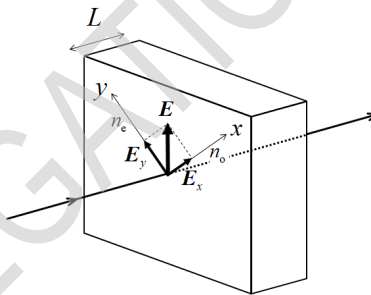


Рисунок 1: Разложение вектора электрического поля E линейно поляризованной волны при нормальном падении на поверхность двулучепреломляющего кристалла.

Разность фаз Γ между двумя лучами

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

где

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

разность показателей преломления. Поскольку электрическое поле представляет собой векторную сумму полей E_x и E_y с разностью фаз Γ , после прохождения через кристалл у поля возникает компонента электрического поля, перпендикулярная к направлению исходной поляризации падающего света.

Пусть I_{\parallel} и I_{\perp} обозначают интенсивности после прохождения кристалла составляющих света с поляризациями параллельными и перпендикулярными к направлению линейной поляризации падающего света соответственно. Далее угол линейной поляризации падающего света (E на рис. 1) с осью x равен 45° . Тогда нормированная интенсивность перпендикулярной компоненты I_{Norm} можно вычислить по формуле

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

где I_{Total} – полная интенсивность прошедшего света, $I_{\parallel} + I_{\perp}$.

Мы можем провести эксперимент в котором I_{Norm} изменяется между 0 и 1 при изменении длины волны падающего света. Пусть λ_m ($m = 1, 2, 3, \dots$) – длины волн, при которых $I_{\text{Norm}} = 0$; тогда мы должны найти разности фаз Γ_m , для которых

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

Это уравнение позволяет определить толщину кристалла L , если можно измерить разные значения λ_m при известном значении $\Delta n(\lambda_m)$.

В этом эксперименте вам нужно определить толщину пластинки из кварца. Кварц – двулучепреломляющий кристалл с показателями преломления n_o и n_e , зависимость которых от длины волны в вакууме показана на рис. 2.

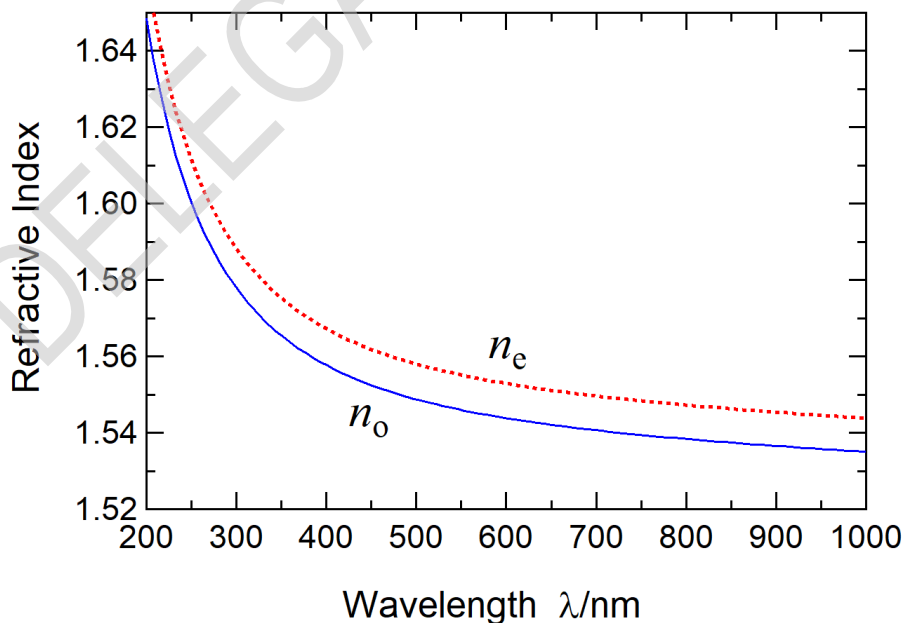
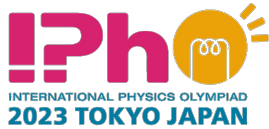


Рисунок 2: Зависимость показателей преломления n_o и n_e от длины волны для кварца.

На рисунке 3 показана установка для измерения толщины. На рис. 4 и 5 показаны оптические и механические компоненты и устройства. Белый светодиод (LED, light-emitting diode) используется как источник света, он состоит из голубого светодиода и слоя фотолуминофора. Когда свет от голубого светодиода освещает фотолуминофор, испускается белый свет с непрерывным спектром. Свет

Experiment



Q2-3

Latvian Russian (Latvia)

от белого светодиода разделяется на монохроматические компоненты с помощью дифракционной решетки **G**, и линейно поляризуется с помощью поляроида **P1**. Его направление поляризации (**E** на рис. 1) образует угол 45° с осью x кварцевой пластинки **Q**. Компонента поляризации света после прохождения через **Q**, параллельная или перпендикулярная направлению **P1**, выбирается вращением поляроида **P2**. Фотодетектор измеряет интенсивность света.

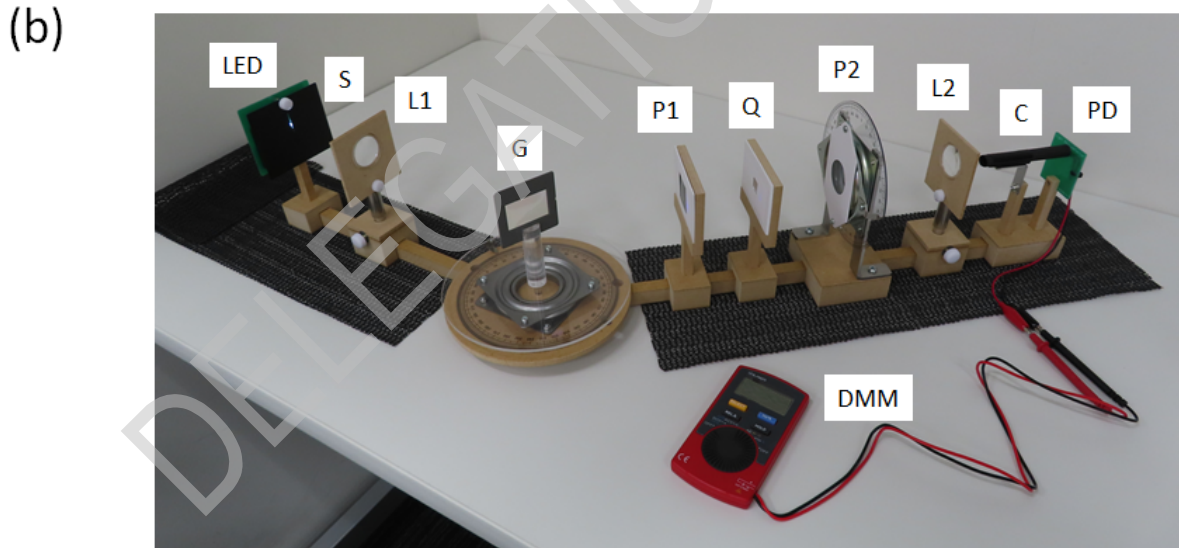
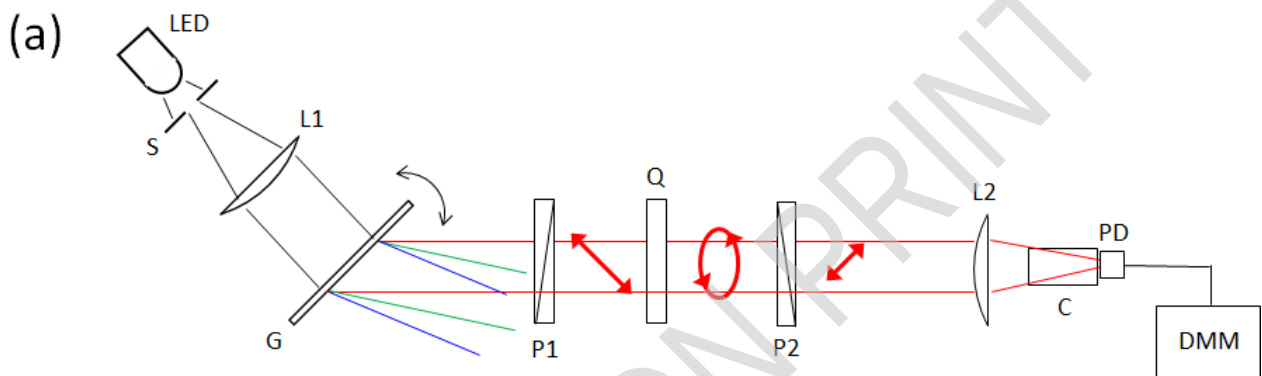


Рисунок 3: (а) Схема и (b) фотография установки для измерения толщины. **LED**: белый светодиод, **S**: щель, **L1**: собирающие линзы, **G**: пропускающая дифракционная решетка, **P1**: поляризатор, **Q**: кварцевая пластинка, **P2**: поляризатор, **L2**: собирающая линза, **C**: цилиндр, не пропускающий свет, **PD**: фотодетектор, **DMM**: цифровой мультиметр.

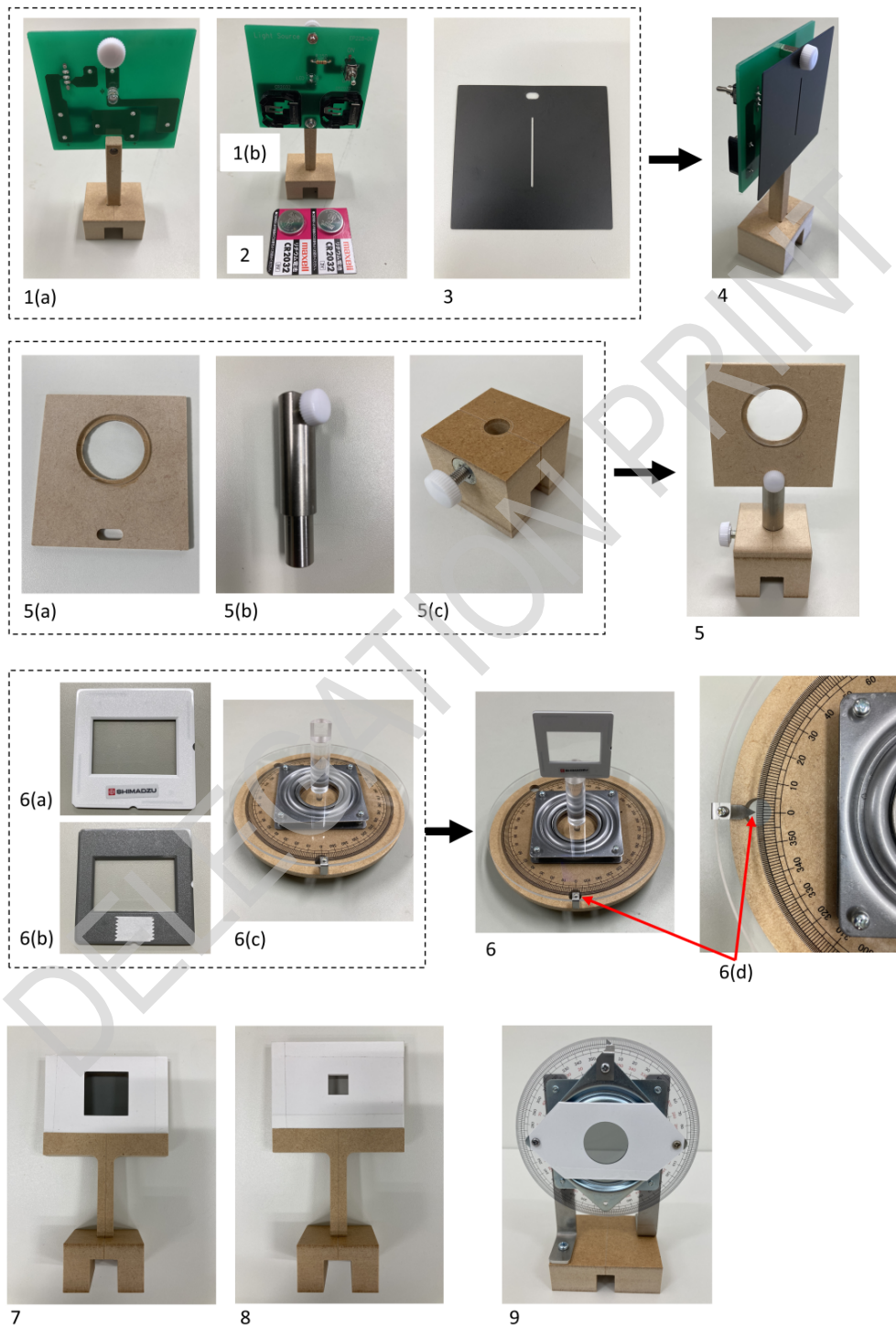
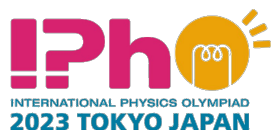


Рисунок 4: Компоненты и устройства: **1(a)**. белый светодиод (вид спереди); **1(b)**. белый светодиод (вид сзади); **2**. батарейки; **3**. щель (S на рис. 3); **4**. белый светодиод с прикрепленной щелью; **5**. линзы ($L1$, $L2$ на рис. 3); **5(a)** установленная линза; **5(b)** стойка для линзы; **5(c)** подставка для стойки; **6**. пропускающая дифракционная решетка (**6(a)** спереди; **6(b)** сзади липкой лентой) на **6(c)** вращающейся подставке (G на рис. 3); **6(d)** транспортир на вращающейся подставке; **7**. поляриод ($P1$ на рис. 3); **8**. кварцевая пластинка (Q на рис. 3); **9**. поляриод на вращающейся подставке ($P2$ на рис. 3).

Experiment



Q2-5

Latvian Russian (Latvia)



Рисунок 5: Компоненты и устройства (продолжение): **10.** цилиндр, не пропускающий свет, с магнитом (С на рис. 3); **11.** цилиндрическая подставка; **12.** фотодетектор (PD на рис. 3); **13.** фотодетектор с цилиндром; **14.** цифровой мультиметр (DMM на рис. 3); **15.** короткий рельс; **16.** длинный рельс; **17.** экран с миллиметровой бумагой; **18.** белая карточка; **19.** черная карточка; **20.** листы, предотвращающие проскальзывание; **21 & 22.** коробка, не пропускающая свет (до и после сборки).

Часть А. Установка для измерений (2.3 балла)

Свет от светодиода падает на дифракционную решетку (рис. 6). Угол поворота θ дифракционной решетки **G** равен 0° в случае нормального падения. Вращению против часовой стрелки и по часовой стрелки отвечают знаки + и - соответственно. Угол дифракции первого порядка α определен на рисунке. Используя период (расстояние между щелями) d дифракционной решетки **G**, можно выразить длину волны λ через θ как

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

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

Далее используйте $d = 1.00$ мкм и постоянный угол дифракции $\alpha = 40.0^\circ$.

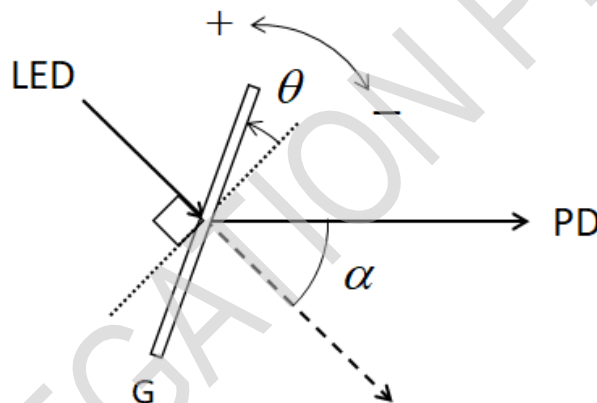


Рисунок 6: Угол поворота θ дифракционной решетки **G** и угол дифракции α .

A.1	Вычислите наибольшую длину волны λ , которую можно измерить, и отвечающее ей значение θ .	0.3 pt
------------	--	--------

A.2	Найдите численные значения θ для $\lambda = 440$ нм.	0.2 pt
------------	---	--------

Процедура измерений для установки имеет следующий вид.

[1] Установите экран с миллиметровой бумагой вертикально (**17** на рис. 5) используя подставку (**17(b)**).

[2] Вставьте две батарейки в модуль белого светодиода. Сторона со знаком "+" должна быть направлена к вам.

[3] Включите светодиод.

[4] Уберите винт на передней стороне модуля светодиода. Этим винтом прикрепите щель к модулю светодиода (**4** на рис. 4). Используя экран с миллиметровой бумагой, выровняйте положение щели таким образом, чтобы яркость проходящего света была максимальной, и измерьте высоту центра пучка света в момент его выхода из щели (нужно для процедуры [9]).

Experiment

[5] Поместите U-образный открытый конец длинного рельса на соответствующий конец короткого рельса (рис. 7(i)). Вставьте ось вращения, расположенную на вращающейся подставке, в отверстие, образовавшееся между двумя рельсами (рис. 7(ii)). Убедитесь, что оба рельса могут вращаться плавно и без трения относительно этой оси. 7(iii). Убедитесь, что длинный рельс останется на столе при поворотах на углы в диапазоне $0^\circ \leq \alpha \leq 40.0^\circ$.

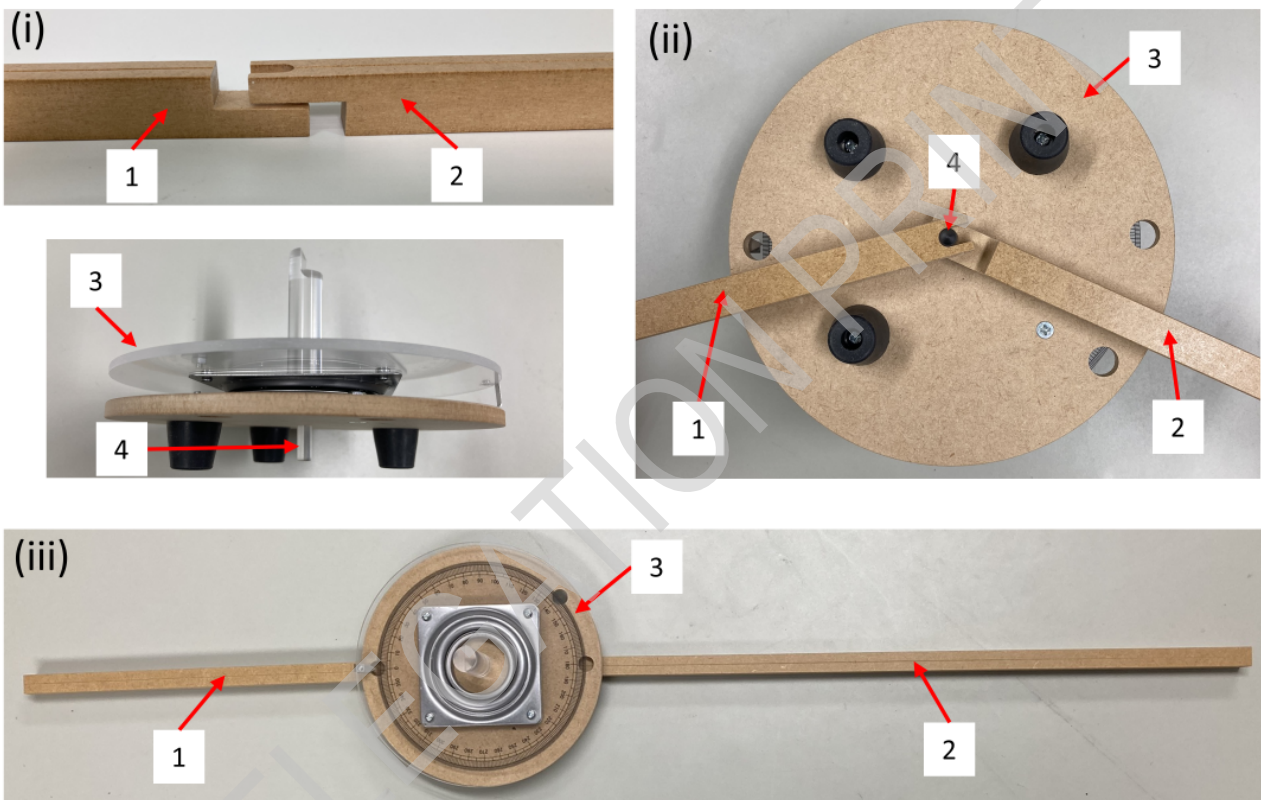


Рисунок 7: (i) U-образный открытый конец короткого рельса под таким же концом длинного рельса образуют отверстие. (ii) В это отверстие вставьте ось, расположенную на вращающейся подставке. (iii) Вид сверху на вращающуюся подставку, на которой расположены два рельса, которые могут свободно вращаться вокруг вертикальной оси. 1. короткий рельс; 2. длинный рельс; 3. вращающаяся подставка; 4. ось на вращающейся подставке.

[6] Установите центральную линию короткого рельса напротив угла 0° на транспортире, не сдвигайте ее. Вы можете подложить лист, предотвращающие проскальзывание, под этот рельс.

[7] Соберите линзы (5 на рис. 4).

[8] Поместите модуль светодиода с щелью и линзой (L1 на рис. 3) на короткий рельс. Отъюстируйте расстояние между щелью и линзой L1 так, чтобы размер пучка света, распространяющегося после L1, оставался практически постоянным вдоль лучей света.

[9] Используя экран с миллиметровой бумагой, измерьте высоту пучка света после L1. Отъюстируйте уровень L1 освобождая винты на подставке и двигая ее так, чтобы высота луча света оставалась практически такой же, как сразу после щели.

- [10] Установите центральную линию длинного рельса напротив угла 180° на транспорте.
- [11] Пошевелите подставку для линзы (**5(a)** на рис. 4) в горизонтальном направлении. Для этого ослабьте винты и подвигайте ее влево или вправо. Центр луча после **L1** должен совпадать с центральной линией длинного рельса. Вы можете разместить экран с миллиметровой бумагой над длинным рельсом.
- [12] С помощью двусторонней клейкой ленты на задней стороне дифракционной решетки (**6(b)** на рис. 4) прикрепите ее к верху оси на вращающейся подставке (**6** на рис. 4).
- [13] Поверните переднюю сторону дифракционной решетки к источнику света, вращайте подставку таким образом, чтобы отраженный свет попадал в щель, то есть $\theta = 0^\circ$ (нормальное падение). Запишите угол поворота θ_{stage} вращающейся подставки в этом положении. Он будет использован в пункте В.1.
- [14] Поверните длинный рельс вокруг оси таким образом, чтобы получить угол $\alpha = 40.0^\circ$ (рис. 6). Когда вы получите нужный угол, можете положить под рельс другой лист, предотвращающий проскальзывание.
- [15] Поместите линзу (**L2** на рис. 3) и фотодетектор (**PD** на рис. 3) на цилиндрических подставках на длинный рельс. Чтобы сфокусировать дифрагировавший свет на фотодетекторе **PD**, отъюстируйте расстояние между **PD** и линзой **L2** вдоль рельса, а также высоту **L2**. При этом минимизируйте вертикальный размер пучка. Проверьте диаметр пучка с помощью белой карточки. Если свет слишком тусклый, чтобы его можно заметить невооруженным глазом, используйте коробку, чтобы закрыть фотодетектор **PD**.
- [16] Разместите не пропускающий свет цилиндр на подставке (**13** на рис. 5). Этот цилиндр убирает лишнюю засветку.
- [17] Подключите фотодетектор **PD** к мультиметру DMM. Красный (черный) провод подсоединяется к красному (черному) выводу. Используйте мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения DC.
- [18] Отъюстируйте высоту линзы **L2**, максимизируя показания мультиметра DMM. Далее считайте, что интенсивность падающего света – это напряжение на мультиметре DMM.

A.3 Поворачивайте вращающуюся подставку и найдите угол θ и соответствующую длину волны λ_{peak} , при которой спектральная плотность излучения синего светодиода максимальна, считая что $\alpha = 40.0$. Если ваш ответ для λ_{peak} находится между 450 нм и 460 нм, установка отъюстирована правильно; запишите значение $\alpha = 40.0^\circ$ в листе ответов и продолжайте. Иначе вам нужно определить настоящее значение α . Ничего не меняя, включая ваше начальное значение λ_{peak} , найдите исправленное значение α , при котором ваше λ_{peak} попадет в нужный диапазон. Запишите это значение α в листе ответов и используйте его в оставшейся части задачи. 0.8 pt

- [19] Установите поляризаторы (**P1** и **P2** на рис. 3) на длинный рельс.

A.4 Поверните вращающуюся подставку в положение с углом $\theta = -15.0^\circ$. Наблюдайте показания DMM и найдите угол φ_\perp вращения оправы поляризатора **P2**, плоскость поляризации которого перпендикулярна плоскости поляризации света, прошедшего через поляризатор **P1**. Из этого результата найдите угол φ_\parallel вращения оправы поляризатора **P2**, когда его плоскость поляризации параллельна плоскости поляризации поляризатора **P1**. 0.3 pt

A.5 Перекройте свет, проходящий через щель, поместив чёрную карточку перед щелью. Таким способом Вы можете оценить величину фона, т.е. смещение нуля интенсивности(offset). Интенсивности света $I_{\text{Offset } \perp}$ и $I_{\text{Offset } \parallel}$ определяются, когда углы установки поляроида **P2** равны φ_{\perp} и φ_{\parallel} , соответственно. Измерьте смещения $I_{\text{Offset } \perp}$ и $I_{\text{Offset } \parallel}$. Заметьте, что $I_{\text{Offset } \perp}$ и $I_{\text{Offset } \parallel}$ относятся к свету, исходящему не от основного источника. Их следует устранить путем вычитания с целью определения вклада исключительно от основного источника света. 0.2 pt

A.6 I_{\perp} и I_{\parallel} - интенсивности света источника при углах вращающейся оправы поляризатора **P2** равных соответственно φ_{\perp} и φ_{\parallel} . Измерьте интенсивности света I_{\perp} и I_{\parallel} для $\theta = -15.0^{\circ}$. 0.5 pt

Часть В. Измерение интенсивностей прошедшего света(4.7 балла)

Далее используйте значения λ вычисленные с использованием поправки α в разделе **A.3** как заданные.

B.1 Установите кварцевую пластинку между поляроидами **P1** и **P2** и измерьте интенсивности прошедшего света I_{\perp} и I_{\parallel} для различных углов θ . Ваши измерения должны полностью покрывать диапазон длин волн от 440 нм до 660 нм или шире. Занесите в таблицу следующие параметры: θ_{Stage} (угол поворота вращающейся подставки), θ , λ , I_{\perp} , I_{\parallel} , $I_{\text{Total}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$, $I_{\text{Norm}} = I_{\perp}/I_{\text{Total}}$. Заметьте, что когда значение θ_{Stage} увеличивается, значение θ уменьшается на ту же величину, и наоборот. Вам не нужно использовать все строки предоставленной таблицы, но нужно провести достаточно измерений, чтобы получить точные результаты. 2.0 pt

B.2 Постройте график спектра белого диода, т.е. зависимость I_{Total} от длины волны. 1.0 pt

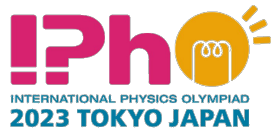
B.3 Найдите полную ширину на полувысоте $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ спектра синего светодиода, встроенного в белый светодиод. Это ширина пика, измеренная между двумя точками, в которых интенсивность в два раза меньше максимальной. 0.2 pt

B.4 Постройте график спектра I_{Norm} . 1.5 pt

Часть С. Обработка результатов измерений (3.0 балла)

C.1 Из графика I_{Norm} найдите все длины волн, при которых интенсивность проходит через локальный минимум. Соответствующий номер порядка m из уравнения (6) приведите под соответствующей длиной волны. Для определения разности показателей преломления Δn используйте значения n_o и n_e приведённые в таблице 1. 1.5 pt

Experiment



Q2-10

Latvian Russian (Latvia)

C.2 Получите толщину образца L .

1.5 pt

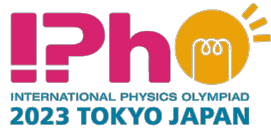
DELEGATION PRINT

Таблица 1: Показатели преломления кварца n_o и n_e (400–700 нм).

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

Latvian Russian (Latvia)

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