

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 86

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ
СВЕТА
ЧЕРЕЗ ДВА ДВУПРЕЛОМЛЯЮЩИХ
КРИСТАЛЛА**

Поставил работу доцент Авксентьев Ю.И.

Москва - 2012

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВА ДВУПРЕЛОМЛЯЮЩИХ КРИСТАЛЛА

Целью настоящей работы является изучение явления прохождения светом последовательно двух кристаллов исландского шпата и построение хода лучей при их различной взаимной ориентации.

1. Данная задача является повторением опытов Гюйгенса с двумя кристаллами. Рассматривая распространение света в двупреломляющем кристалле исландского шпата (кальцит, $CaCO_3$) Гюйгенс первым дал правильное объяснение загадочному явлению двойного лучепреломления, которое возникает вследствие анизотропности кристалла, т.е. способности по-разному пропускать световые колебания вдоль различных направлений кристаллической решетки. Согласно Гюйгенсу (и современным представлениям), если в некоторой точке кристалла находится точечный источник света, то он будет порождать две различные световые волны. Эти волны различаются, в частности, формой волновых поверхностей: у одной волны эта поверхность является сферой, у другой — эллипсоидом вращения.¹ Следовательно, скорость одной волны постоянна по всем направлениям в кристалле, а другой — зависит от выбранного направления. Первая волна называется обыкновенной волной, вторая — необыкновенной. Скорость обыкновенной волны принято обозначать символом V_o , необыкновенной — V_e .

Следуя методу Гюйгенса (методу построения последовательных положений волнового фронта), можно построением определить направление распространения лучей в кристалле исландского шпата (лучей обыкновенного и необыкновенного). Проведем эти построения для случая, имеющему место в данной задаче.

Известно, что кристалл исландского шпата представляет собой ромбоэдр. В верхней левой части рис. 1 изображено сечение этого кристалла плоскостью, проходящей через вершины $AA'B'B$. Отрезки AB и $A'B'$ представляют собой большие диагонали ромбов нижней и верхней граней кристалла. Как видно из рис. 1, верхняя грань кристалла сдвинута относительно нижней по направлению диагонали AB от A к B . Направление оптической оси кристалла параллельно $A'B$ — наименьшей пространственной диагонали ромба.²

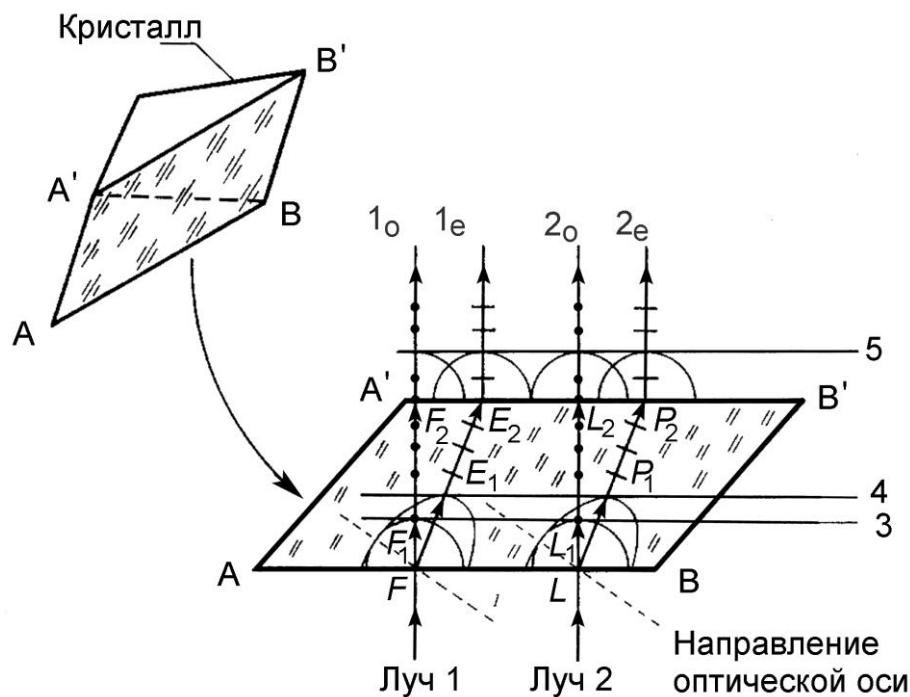
В нижней части рис. 1 сечение кристалла $AA'B'B$ изображено лежащим в плоскости чертежа. Пусть на нижнюю грань нормально к ней падает параллельный пучок естественного света, ограниченный лучами 1 и

¹ Волновая поверхность — это геометрическое место точек, до которых дойдет свет из данного точечного источника за некоторый промежуток времени.

² Направлением оптической оси в кристалле называется такое направление, при распространении вдоль которого световые лучи не раздваиваются.

2. В этом случае главная плоскость кристалла совпадает с плоскостью чертежа.³

Путь пучка света можно определить, если построить ход лучей 1 и 2 в этом кристалле. Падая на кристалл, лучи 1 и 2 породят на нижней грани кристалла точечные источники света F и L . Согласно Гюйгенсу, от каждого из этих точечных источников в кристалле начнут распространяться



две волны с волновыми поверхностями в виде сфер и эллипсоидов вращения вокруг оптической оси кристалла с центрами в точках F и L . На рис. 1 изображены сечения волновых поверхностей плоскостью чертежа в некоторый момент времени t после начала распространения

Рис. 1

света в кристалле. Как видно из рис. 1, скорости распространения волн в направлении оптической оси совпадают, а в перпендикулярном ему направлении — нет. Степень вытянутости эллипсоида определяется отношением этих скоростей. Сечения волновых поверхностей остальных лучей пучка такие же, как и лучей 1 и 2 , и в целях упрощения рисунка они не приводятся. Огибающие поверхностей сферических и эллиптических волн представляют собой плоские фронты обыкновенной и необыкновенной волн для момента времени t , распространяющихся от нижней грани вглубь кристалла. На рис. 1 изображены сечения этих поверхностей плоскостью чертежа — прямые 3 и 4 , соответственно. Как видно из рисунка, фронты обыкновенной и необыкновенной волн параллельны нижней грани кристалла. Кроме того, фронт необыкновенной волны за время t распространился на большее расстояние от грани кристалла, чем фронт обыкновенной волны. Следовательно, скорость

³ При рассмотрении явлений, связанных с прохождением светового луча внутри кристалла, за главную плоскость принимают плоскость, в которой лежит этот луч и оптическая ось кристалла.

волнового фронта необыкновенной волны в кристалле исландского шпата больше скорости волнового фронта обыкновенной волны. Так как волновой фронт, по определению, представляет собой поверхность постоянной фазы, то волновую скорость часто называют фазовой скоростью. Когда говорят о скорости распространения света в среде, то обычно подразумевают скорость распространения волнового фронта, т.е. фазовую скорость. Наряду с фазовой скоростью в данном случае следует рассматривать скорость, характеризующую распространение световой энергии в кристалле. Эта скорость получила название лучевой скорости. Для пояснения того, как вычисляется лучевая скорость, обратимся вновь к рис. 1 и рассмотрим источники F и L на нижней грани кристалла. Как видно из рисунка, из всех вторичных точечных источников, находящихся в момент времени t на сферических и эллиптических волновых поверхностях, на волновом фронте обыкновенной волны (сечение 3) располагаются только точечные источники, отмеченные буквами F_1 и L_1 , а на волновом фронте необыкновенной волны — только точечные источники, отмеченные буквами E_1 и P_1 . Таким образом, световая энергия обыкновенной волны распространяется в направлениях от F к F_1 и от L к L_1 , а необыкновенной — в направлениях от F к E_1 и от L к P_1 . Как видно из того же рисунка, лучевые скорости обыкновенного и необыкновенного лучей не только отличаются по величине, но имеют и разные направления в кристалле: луч в необыкновенной волне, в отличие от обыкновенной, не перпендикулярен своему фронту. Для определения направления распространения лучей в течение следующего отрезка времени необходимо провести описанные построения для точечных источников F_1 , L_1 , E_1 и P_1 . Однако в силу того, что рассматриваемый нами кристалл является, по предположению, оптически однородным, лучи света FF_1 , LL_1 , и FE_1 , LP_1 будут распространяться в нем прямолинейно и пересекут верхнюю грань кристалла в точках F_2 и L_2 (обыкновенные лучи) и в точках E_2 и P_2 (необыкновенные лучи). При построении волновых фронтов от точечных источников F_2 , L_2 и E_2 , P_2 необходимо учесть, что эти источники возбуждают световые волны в изотропной среде — воздухе. В воздухе волновые поверхности волн от всех перечисленных точечных источников представляют собой сферы. Поэтому легко понять, почему по выходе из кристалла и обыкновенные, и необыкновенные лучи распространяются перпендикулярно к его поверхности.⁴

⁴ В общепринятом обозначении 1_o , 2_o — обыкновенные лучи, 1_e , 2_e — необыкновенные лучи. Индексы "о" и "е" имеют физический смысл только тогда, когда эти лучи распространяются в кристалле.

Сечение 5 представляет собой сечение плоских фронтов волн в воздухе. Исследование поляризации лучей 1_o , 2_o и 1_e , 2_e показывает, что и первая, и вторая пара лучей поляризованы. При этом колебания электрических векторов E_o в первой паре лучей перпендикулярны

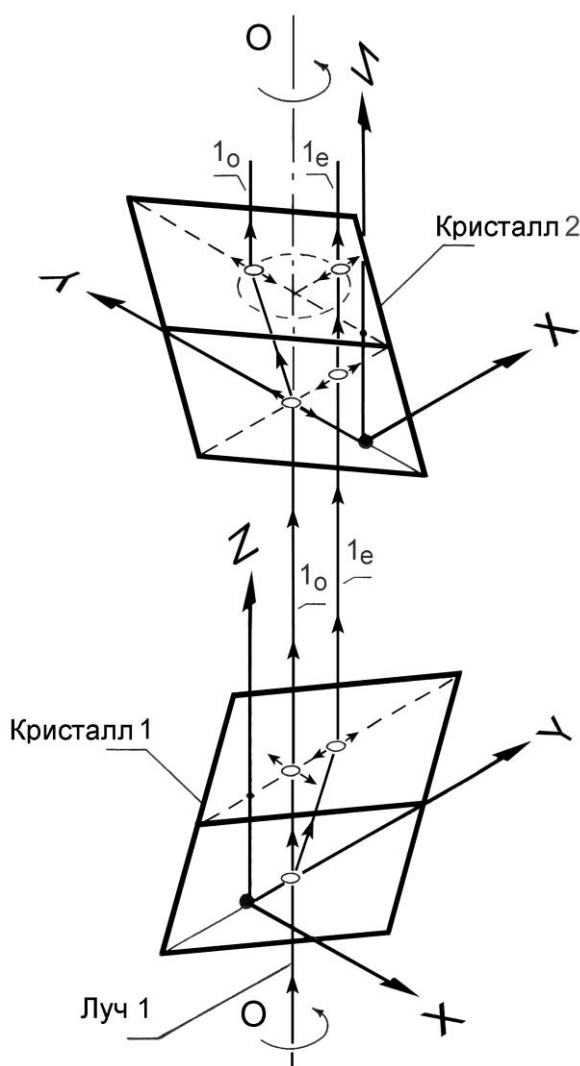


Рис. 2

главной плоскости кристалла, а во второй паре — электрические векторы E_e лежат в этой плоскости. На рис. 1 векторы \vec{E} на лучах изображены точками, если они перпендикулярны главной плоскости, и черточками, если лежат в ней. Следовательно, в кристалле исландского шпата могут распространяться световые волны только с двумя взаимно перпендикулярными направлениями колебаний вектора \vec{E} . Световые лучи 1 и 2 с произвольной ориентацией вектора \vec{E} (естественный свет) такой кристалл раскладывает внутри себя на составляющие \vec{E}_o и \vec{E}_e . Как видно из рис. 1, направление колебаний вектора \vec{E} в этих лучах сохраняется и по выходе их из кристалла.

На основании сказанного нетрудно догадаться, как будут распространяться, например, лучи 1_o и 1_e , если на их пути установить второй кристалл исландского шпата. На рис. 2 показан ход этих лучей через кристалл 2 для случая, когда кристаллы 1 и 2 соразориентированы так, что их главные плоскости перпендикулярны. Луч 1_o , прошедший через кристалл 1, по отношению к кристаллу 2 будет необыкновенным, так как направление колебаний его вектора \vec{E} лежит в главной плоскости кристалла 2 и, следовательно, как показано на рис. 2, при распространении в кристалле 2 он изменит направление распространения. И наоборот, луч 1_e , изменивший направление распространения в кристалле 1, по отношению к кристаллу 2 является обыкновенным лучом, так как направление колебаний его

вектора \vec{E} перпендикулярно главной плоскости кристалла 2. Поэтому, как показано на том же рисунке, при распространении во втором кристалле он не меняет направления своего распространения. Следовательно, при таком расположении кристаллов мы увидим, что из кристалла 2 выходят два луча, при этом оба луча окажутся смещенными относительно направления распространения (OO) луча естественного света, падающего на кристалл 1. При одновременном вращении кристаллов вокруг вертикальной оси лучи I_o и I_e , прошедшие через кристалл 2, будут совершать движение по кругу. Направления колебаний векторов \vec{E} в этих лучах при прохождении ими кристалла 2 не меняются.

Из изложенного выше следует, что для определения направления распространения поляризованных лучей в кристалле исландского шпата при нормальном их падении на нижнюю грань кристалла нет необходимости прибегать каждый раз к построению Гюйгенса для этих лучей. Как видно из рис. 1, смещение необыкновенного луча относительно обыкновенного происходит в направлении диагонали $A'B'$ верхней грани от точки A' к точке B' . Этот вывод можно будет использовать при объяснении результатов наблюдений в упражнениях 2-4.

Распространение света через кристаллы изучается для шести различных вариантов их взаимного расположения, которые можно разбить на три группы.

1. Главные плоскости кристаллов параллельны.
2. Главные плоскости кристаллов перпендикулярны.
3. Главные плоскости кристаллов ориентированы под углом 45° относительно друг друга.

В свою очередь, внутри каждой группы кристалл 2 может занимать два положения. Из первого положения во второе кристалл переводится путем поворота на 180° . Положение кристалла 1 во всех упражнениях остается неизменным.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Устройство установки описано в методической разработке «Изучение основных явлений поляризации света. Задача № 85», см. задача № 85 настоящего сборника.

Упражнение №1

В качестве первого упражнения выполните с одним из кристаллов упражнение № 1 из задачи № 85 (пункты а и б). После выполнения упражнения кристалл оставьте на столике микроскопа.

Упражнение №2

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВА КРИСТАЛЛА, ГЛАВНЫЕ ПЛОСКОСТИ КОТОРЫХ ОРИЕНТИРОВАНЫ ПАРАЛЛЕЛЬНО

Прежде, чем приступить к описанию задания, следует дополнительно сказать несколько слов о расположении кристаллов в держателях № 5. Для

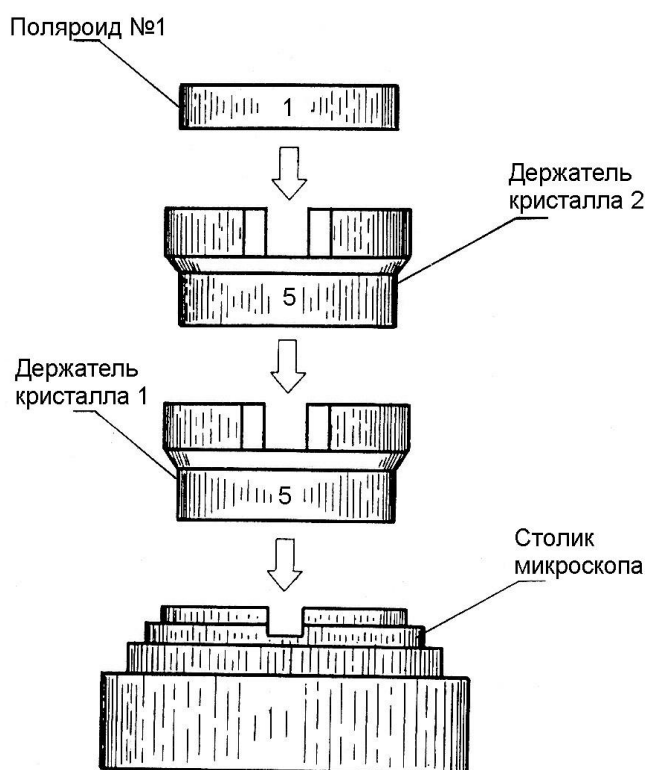


Рис. 3

этого обратимся к рис. 5 задачи № 85 (см. стр. 28). Как видно из этого рисунка, главная плоскость кристалла проходит через метки, нанесенные на корпусе держателя, а ребро кристалла AA' (см. рис. 1 настоящего описания) находится напротив длинной вертикальной метки, идущей по цилиндрической поверхности кольца № 5. Перед выполнением упражнений №№ 2-4 следует располагать держатели № 5 кристаллов 1 и 2 так, чтобы длинные вертикальные метки как бы переходили одна в другую и располагались напротив той метки на предметном

столике микроскопа, которая находится слева от наблюдателя. При такой установке главные плоскости кристаллов 1 и 2 будут лежать в одной вертикальной плоскости, а направления оптических осей кристаллов — параллельны. Такое расположение кристаллов является "исходным" при выполнении упражнений 2-4.⁵ Как уже было сказано выше, изменение ориентации кристаллов осуществляется путем поворота верхнего держателя (кристалла 2) при неподвижном нижнем, который при выполнении операции поворота удерживается от вращения большим и

⁵ Далее в тексте такое расположение кристаллов мы будем называть «исходным» даже тогда, когда речь будет идти об одном кристалле на столике.

указательными пальцами левой руки через специальные вырезы в корпусе столика микроскопа. Направление вращения и угол поворота указываются в каждом упражнении.

Теперь перейдем к описанию задания второго упражнения. Напомним, что после выполнения упражнения № 1, на столике микроскопа остался диск-диафрагма № 4 и один из держателей с кристаллом, который в дальнейшем мы будем называть кристаллом 1. Для выполнения упражнения соберите оптическую схему, представленную на рис. 3. Как видно из рисунка, для этого на

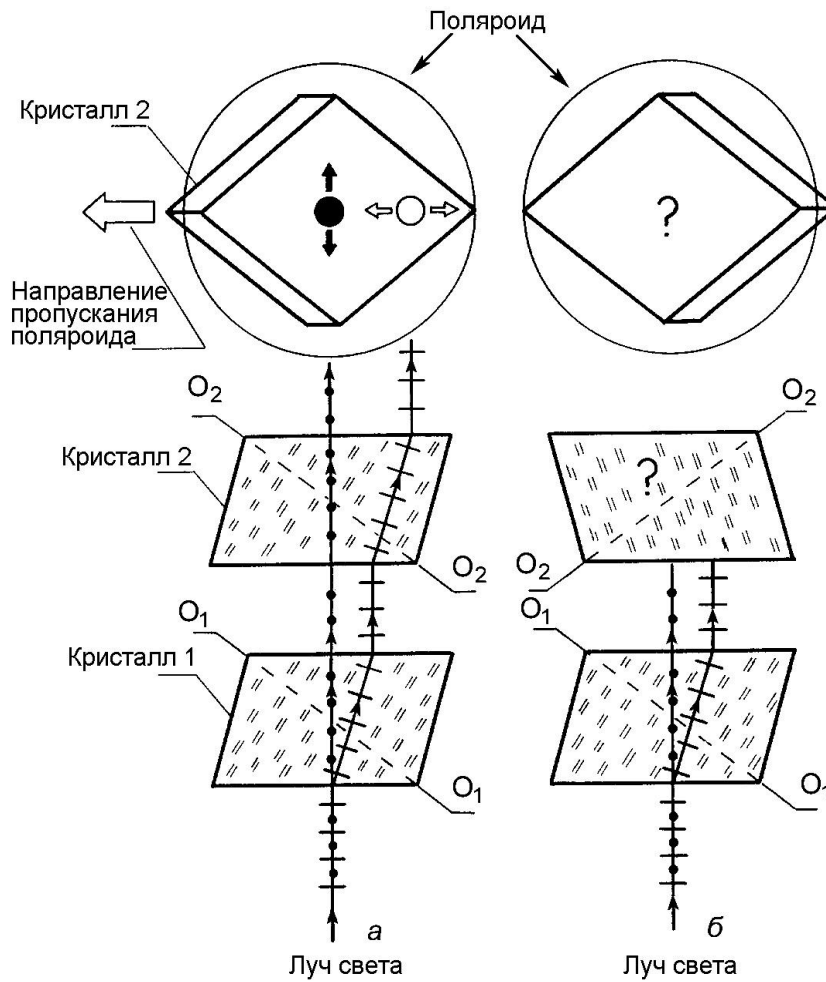


Рис. 4

предметный столик микроскопа необходимо положить второй держатель с кристаллом, который назовем кристаллом 2. Такая схема используется и для выполнения упражнений №№ 3, 4. Поляроид № 1 устанавливается на держатель кристалла 2 в конце выполнения каждого упражнения. В промежутках между измерениями поляроид необходимо хранить в

футляре.

а) Установите кристаллы 1 и 2 в "исходное" положение.

Взаимное расположение кристаллов и ход луча естественного света представлены на рис. 4(а). Пунктирные линии o_1o_1 и o_2o_2 указывают направления оптических осей кристаллов. В верхней части рисунка представлен вид кристалла 2 при рассматривании его в окуляр микроскопа через поляроид. При рассматривании кристалла без поляроида в поле зрения окуляра отчетливо видны два луча.

Если четкости нет, добейтесь ее фокусировкой. Поле зрения окуляра на рисунке намного больше реального. Большое поле зрения позволяет дать на рисунке изображение всего кристалла 2, из которого видно, как он ориентирован в момент наблюдения. Кристалл 2 в держателе и на рисунке расположен так, что центр отверстия диафрагмы-диска № 4 и точка пересечения диагоналей верхней грани кристалла 2 располагаются на одной вертикальной прямой. Таким образом, если какой-либо луч при распространении через кристаллы 1 и 2 не испытывает отклонения, то точкой его выхода из кристалла 2 будет точка пересечения диагоналей верхней грани кристалла 2. Знание расположения этой точки значительно упрощает построение на рисунке изображений лучей, прошедших оба кристалла и объяснение их движения при вращении кристаллов, так как очевидно, что луч, идущий через эту точку, при вращении кристаллов будет оставаться неподвижным. На самом деле наблюдатель видит в окуляр только часть поверхности верхней грани кристалла 2 с лучами света, прошедшими сквозь него.

Убедитесь в том, что наблюдаемые положения лучей соответствуют схеме их распространения через кристаллы, представленной в нижней части рис. 4(а).

Для этого приведите во вращение оба кристалла одновременно так, чтобы их взаимное расположение не менялось. Это можно сделать, если вращать нижний держатель кристалла указательным и большим пальцами левой руки через вырезы в столике микроскопа. При медленном вращении, без рывков, относительное положение кристаллов не меняется. Как видно из рисунка, если схема распространения лучей света через кристаллы верна, то луч, изображенный в верхней части рисунка черным кружком, будет оставаться неподвижным, а луч, изображенный светлым кружком, будет совершать движение по кругу.

- Снимите кристалл 2 со столика микроскопа и убедитесь в том, что расстояние между лучами уменьшилось.

- Верните кристалл 2 на столик и установите его в первоначальное положение (вертикальные метки на держателях кристаллов должны совпадать).

- Вложите в держатель кристалла 2 кольцо с поляроидом № 1.

- Убедитесь в том, что наблюдаемые вами лучи поляризованы в двух

взаимно перпендикулярных направлениях.

Для этого одной рукой удерживайте от вращения держатель кристалла 2, а другой рукой через вырезы в верхней части держателя кристалла 2 начните вращать поляроид в удобном для вас направлении. Добейтесь полного исчезновения одного из лучей и запишите в тетрадь номер кольца поляроида и значение угла в градусах, установившееся против метки на держателе кристалла 2 слева от вас. Продолжая вращать поляроид в том же направлении, добейтесь полного исчезновения второго луча и запишите в тетрадь новое значение угла. Убедитесь в том, что разность отсчетов углов составляет 90° . Подчеркните в тетради то значение угла, которое соответствует полному исчезновению неподвижного луча.⁶ Как видно из рис. 4(а), этот угол определяет направление пропускания поляроида.

- Снимите поляроид с установки и поместите его в футляр.

Дома, при оформлении отчета по выполненной части задания:

- перерисуйте рис. 4(а) в тетрадь, располагая его в левой части листа;
- объясните, почему расстояние между лучами уменьшается, когда со столика убирается кристалл 2;

- объясните, почему лучи, после прохождения кристаллов, расположены в поле зрения окуляра так, как это изображено на рис. 4(а). Дайте объяснение траектории их движения при одновременном вращении кристаллов;

- объясните, почему лучи, прошедшие через кристаллы, поляризованы так, как это указано на рис. 4(а).

б) Перед выполнением второй части упражнения, установите кристаллы в "исходное" положение. После этого, удерживая кристалл 1 от вращения, поверните кристалл 2 на 180° . На рис. 4(б) кристаллы изображены в новом положении.

- Зарисуйте в тетради картину расположения лучей, видимую в окуляр.⁷

- Плавно вращая оба кристалла, определите траектории движения каждого луча и изобразите их пунктиром на рисунке в тетради.

- Вложите поляроид № 1 в держатель кристалла 2 и определите направления поляризации каждого из лучей.⁸ Результаты наблюдений в виде отчетов по шкале и стрелок зафиксируйте в тетради напротив каждого из них.

- Снимите поляроид с установки и поместите в футляр.

Дома при оформлении отчета:

- перерисуйте в тетрадь рядом с рис. 4(а) рис. 4(б);

⁶ На рис. 4а невидимый луч изображен в виде черного кружка. Стрелки около кружков указывают направление поляризации лучей.

⁷ Если случайно окажется, что толщина кристалла 1 равна толщине кристалла 2, то в окуляре будет виден один луч.

⁸ Направление пропускания поляроида № 1 было определено в первой части упражнения 2.

- перенесите в верхнюю часть рис. 4(б) зафиксированное в тетради расположение лучей. Укажите стрелками направления поляризации каждого луча;

- укажите на рис. 4(б) в тетради ход лучей в кристалле 2 так, как это сделано на рис. 4(а). Обретите внимание на соответствие построенного вами хода лучей картинке их расположения, видимой в окуляр;

- объясните с помощью полученного рисунка движение лучей, наблюдаемое при вращении кристаллов, и их поляризацию.

Упражнение №3

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВА КРИСТАЛЛА, ГЛАВНЫЕ ПОЛОСКИ КОТОРЫХ ОРИЕНТИРОВАНЫ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО

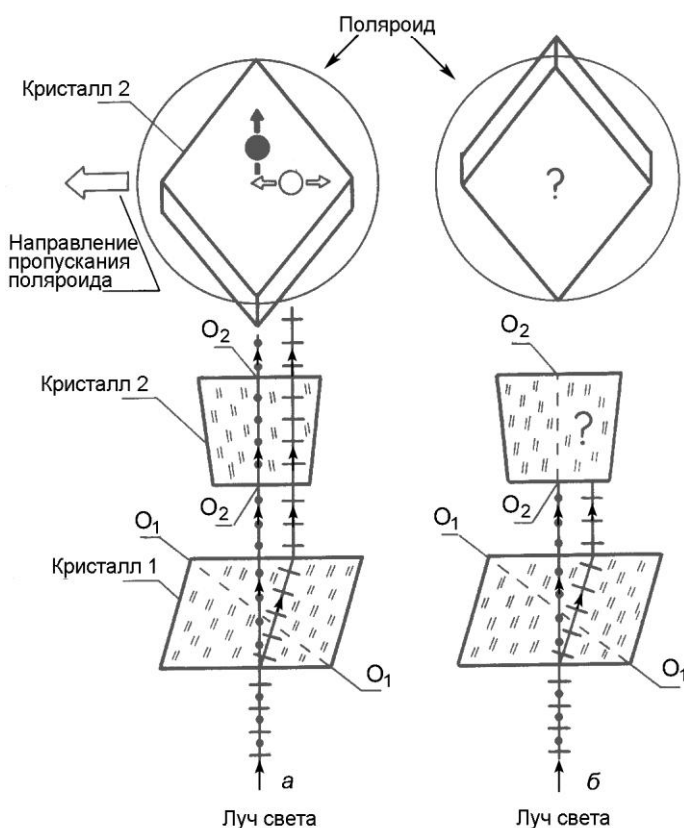


Рис. 5

а) Установите кристаллы в "исходное" положение, после чего, удерживая кристалл 1 от вращения, поверните кристалл 2 против часовой стрелки на угол 90° .

Расположение кристаллов после поворота, схема распространения лучей и их поляризация, изображены на рис. 5(а).

- Проведите наблюдения за расположением лучей в новом положении и их движением в поле зрения окуляра в случае одновременного вращения двух кристаллов. Зарисуйте в тетради картинку расположения лучей и траектории их

движений.

- Установите на держатель кристалла 2 полярироид № 1 и определите направления поляризации лучей, видимых в окуляр. Результаты

наблюдений в виде отсчетов по шкале и стрелок зафиксируйте в тетради напротив каждого из лучей.

- Снимите поляроид с установки и перенесите его в футляр.

Дома при оформлении отчета:

- перерисуйте рис. 5(а) в тетрадь, располагая его в левой части листа;

- объясните, почему лучи после прохождения кристаллов

расположены в поле зрения окуляра так, как это изображено на рис. 5(а).

Дайте объяснение траектории их движения при одновременном вращении кристаллов;

- объясните, почему лучи, прошедшие через кристаллы, поляризованы так, как это указано на рис. 5(а).

б) Перед выполнением второй части упражнения, не нарушая взаимного расположения кристаллов, установите кристалл 1 в "исходное" положение. Затем, удерживая кристалл 1 от вращения, поверните кристалл 2 на 180° . На рис. 5(б) кристаллы изображены в новом положении.

-Зарисуйте в тетради картинку расположения лучей, видимую в окуляр. Плавно вращая оба кристалла, определите траектории движений каждого луча и изобразите их пунктиром на рисунке в тетради.

- Вложите поляроид № 1 в держатель кристалла 2 и определите направления поляризации каждого из лучей. Результаты наблюдений в виде отсчетов по шкале и стрелок зафиксируйте в тетради напротив каждого из них.

- Снимите поляроид с установки и поместив его в футляр.

Дома при оформлении отчета:

- перерисуйте в тетрадь рядом с рис. 5(а) рис. 5(б);

- перенесите в верхнюю часть рис. 5(б) зафиксированное в тетради расположение лучей. Укажите стрелками направление поляризации каждого луча;

- укажите на рис. 5(б) в тетради ход лучей в кристалле 2 так, как это сделано на рис. 5(а). Обратите внимание на соответствие построенного вами хода лучей картинке их расположения, видимой в окуляр;

- объясните с помощью полученного рисунка движение лучей, наблюдаемое при вращении кристаллов, и их поляризацию.

Упражнение №4

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВА КРИСТАЛЛА, ГЛАВНЫЕ ПЛОСКОСТИ КОТОРЫХ СОРИЕНТИРОВАНЫ ПО ОТНОШЕНИЮ ДРУГ К ДРУГУ ПОД УГЛОМ 45°

а) Установите кристаллы в "исходное" положение, после чего, удерживая кристалл 1 от вращения, поверните кристалл 2 против часовой

стрелки на угол 45° .

Расположение кристаллов после поворота, схема распространения лучей и их поляризация изображены на рис. 6(а).

- Проведите наблюдения за расположением лучей в "исходном" состоянии и их движением в поле зрения окуляра в случае одновременного вращения двух кристаллов. Зарисуйте в тетради картинку расположения лучей и траектории их движений.

- Установите на держатель кристалла 2 полярирд № I и определите направления поляризации лучей, видимых в окуляр. Результаты наблюдений в виде отсчетов по шкале и стрелок зафиксируйте в тетради напротив каждого из лучей.

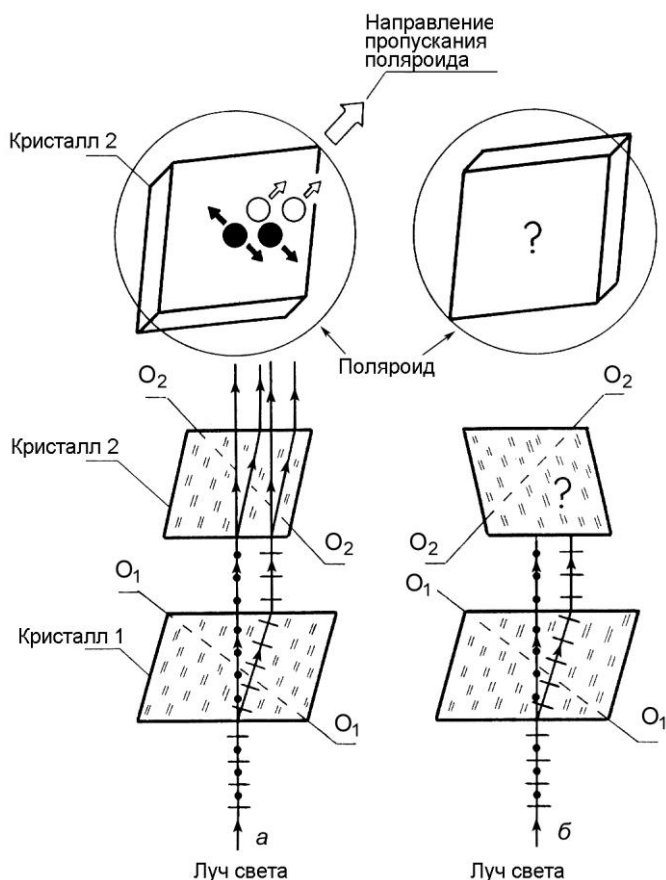


Рис. 6

кристаллов, расположены в поле зрения окуляра так, как это изображено на рис. 6(а). Дайте объяснение траектории их движения при одновременном вращении кристаллов;

- объясните, почему лучи, прошедшие через кристаллы, поляризованы так, как это указано на рис. 6(а).

б) Перед выполнением второй части упражнения, не нарушая взаимного расположения кристаллов, установите кристалл 1 в "исходное" положение. Затем, удерживая кристалл 1 от вращения, проверните кристалл 2 на 180° . На рис. 6(б) кристаллы изображены в новом положении.

- Зарисуйте в тетради картинку расположения лучей, видимую в окуляр.

- Плавно вращая оба кристалла, определите траектории движения

каждого луча и изобразите их пунктиром на рисунке в тетради.

- Вложите поляроид № I в держатель кристалла 2 и определите направление поляризации каждого из лучей. Результаты наблюдений в виде отсчетов по шкале и стрелок зафиксируйте напротив каждого из них.

- Снимите с установки поляроид, оба кристалла, диафрагму-диск № 4 и поместите их в футляр.

Дома при оформлении отчета:

- перерисуйте в тетрадь рядом с рис. 6(а) рис. 6(б);

- перенесите в верхнюю часть рис. 6(б) зафиксированное в тетради расположение лучей. Укажите стрелками направление поляризации каждого луча;

- укажите на рис. 6(б) в тетради ход лучей в кристалле 2 так, как это сделано на рис. 6(а). Обратите внимание на соответствие построенного вами хода лучей картинке их расположения, видимой а окуляр;

- объясните с помощью полученного рисунка движение лучей, наблюдаемое при вращении кристаллов, и их поляризацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Д.В. “Электромагнетизм и волновая оптика” Изд. МГУ, 1994 г. часть 2-я глава III §§ 36, 37, 38.

2. Савельев И.В. «Курс общей физики». Учебное пособие в 5 кн. Кн. 4 «Волновая оптика». М. Наука. Физматлит. 1998.

Ч. II. Оптика. Гл. 6. Поляризация света.

6.1 - Естественный и поляризованный свет.

6.2 – Поляризация при отражении и преломлении .

6.3- Поляризация при двойном лучепреломлении.

6.4 - Интерференция поляризованных лучей.

6.5 - Прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку.

6.6 – Кристаллическая пластинка между двумя поляризаторами.