

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия»  
Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ  
ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ**

Методические указания к лабораторной работе № 13  
по разделу «Оптика» курса общей физики  
для студентов всех специальностей  
дневной и заочной формы обучения

УДК 532.516

Рассмотрены и рекомендованы к изданию  
на заседании кафедры физики  
Протокол № 9 от 12 мая 2011 г.

Составители

доктор физико – математических наук, профессор УО «МГУП»

**В.А.Юревич,**

кандидат физико – математических наук, доцент УО

«МГУ им. А.А.Кулешова»

**Е.В.Тимощенко,**

ст. преподаватель УО «МГУП»

**Т.В.Забиран**

Рецензент

кандидат физико – математических наук, доцент УО «МГУП»

**А.С. Скапцов**

УДК 532.516

©УО «Могилевский государственный  
университет продовольствия», 2011

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13  
**ИЗУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ  
ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ**

**Цель работы:** наблюдение интерференции поляризованного света, определение разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в прозрачных образцах при искусственной анизотропии, изучение свойствам фотоупругости.

**ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:**

- 1 Изучить оптический метод исследования внутренних напряжений в твердых прозрачных телах (деформированных деталях).
- 2 Деформируя детали, создать оптическую анизотропию, т.е. сделать детали двоякопреломляющими.
- 3 Определить разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.

**Приборы и принадлежности:** осветитель, поляризатор, анализатор и опора для образцов, размещённые на оптической скамье, набор прозрачных моделей, набор слюдяных пластинок.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

*Изотропным* называют вещество, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  которого не зависит от координат. В изотропных оптических средах показатель преломления  $n$  (связанный с проницаемостью  $\epsilon$  формулой Максвелла  $n = \sqrt{\epsilon m}$ ,  $m$  – магнитная проницаемость) не зависит от направления хода светового луча. Существуют оптические среды, в которых проницаемость  $\epsilon$  является сложной функцией координат, и такие среды именуют *анизотропными* – показатель преломления этих материалов (как правило, они представлены кристаллами, вытянутыми полимерными пленками и волокнами) зависит от направления вхождения луча света по отношению к естественным граням кристалла.

Для подобных сред характерным свойством выступает двойное лучепреломление (или *двулучепреломление*) – при прохождении светового луча через грань внутри анизотропного вещества наблюдается его раздвоение на *обыкновенный* и *необыкновенный* лучи. Раздвоение луча обусловлено зависимостью показателя преломления вещества от поляризации волн, образующих луч, и направления его распространения относительно кристаллографических осей среды. Обыкновенный луч (именуемый *o-лучом*) подчиняется законам геометрической оптики (прежде всего, закону преломления – скорость света в луче не зависит от угла его вхождения в среду – показатель преломления  $n_0$  одинаков во всех направлениях). В необыкновенном же (*e-луче*) скорость света критична по отношению к этому углу и различна в разных направлениях хода *e-луча* внутри вещества, этот луч может преломляться в

веществе под некоторым углом даже при нормальном падении на границу раздела сред.

## ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИИ

Итак, если на анизотропный кристалл направить узкий пучок света, то из кристалла выйдут два пространственно разделенных луча, параллельных один другому и падающему лучу. Оба луча при выходе из среды оказываются плоскополяризованными (рис.1).

Напомним, что *плоскополяризованным* или *линейнополяризованным* называется свет, представляющий собой пучок электромагнитных волн, в которых световой вектор (вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}$ ) совершает колебания в одной плоскости, называемой *плоскостью колебаний*. В современной терминологии эту плоскость именуют *плоскостью поляризации*.

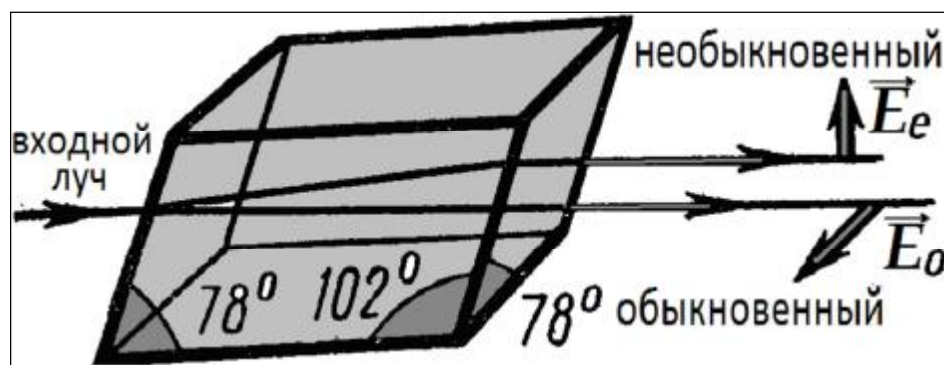


Рисунок 1 – Луч естественного света, падающий нормально на естественную грань кристалла *исландского шпата* ( $\text{CaCO}_3$ ), расщепляется на два линейно-поляризованных луча, распространяющихся с разной фазовой скоростью.

В анизотропных средах существуют направления, вдоль которых не происходит раздвоение лучей, т.е. имеет место только обычное преломление световых лучей. В кристаллографии эти направления именуют *оптическими осями*. Особо выделяют так называемые одноосные кристаллы, характеризующиеся единственной кристаллографической осью такого рода. Вводится понятие *главного сечения кристалла* (главной плоскости кристалла), то есть плоскости, в которой лежат падающий луч и оптическая ось кристалла, проходящая через точку падения луча.

Лучи, образующиеся при двулучепреломлении, обладают следующими свойствами.

Во-первых, оба луча различаются показателями преломления  $n_o$  и  $n_e$ , соответственно различна скорость света в обыкновенном и необыкновенном луче.

Во-вторых, вдоль оптической оси *o*-луч и *e*-луч распространяются с одинаковыми скоростями.

В-третьих, *o*-луч и *e*-луч поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях: направление колебаний светового вектора в обыкновенном луче перпендикулярно главному сечению, в необыкновенном луче световой вектор колеблется в главной плоскости кристалла.

В-четвёртых, яркость обыкновенного и необыкновенного лучей одинакова.

Двулучепреломление характеризуют величиной  $\Delta n = n_o - n_e$  – разностью показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в анизотропной среде. В кристаллах значения этой разности определяются особенностями ориентации их структурных элементов (атомов и молекул), образующих решётку. Поэтому изучение зависимости  $\Delta n$ , например, от угла падения входящего (зондирующего) луча, позволяет анализировать внутреннее устройство кристалла. Для полимерных пленок и волокон по величине  $\Delta n$  также можно судить об их внутримолекулярной и молекулярной структуре и, следовательно, например, об физико-механических свойствах материалов в связи с их внутренним строением.

Явление двойного лучепреломления используется при изготовлении поляризационных приспособлений: *поляризационных призм* и *поляроидов*. Первое из таких устройств было изобретено в 1828 г. шотландским физиком *Николем*. В двойной призме обыкновенный луч испытывает полное внутреннее отражение от внутренних граней, а необыкновенный луч проходит через призму. Призму Николя сокращенно называли «*николем*» (это же название часто применяют и для других призм, действующих по тому же принципу, хотя в силу конструктивных недостатков и сложности изготовления «*никולי*» уже давно не применяют). В этом устройстве (рис. 2), образуемом двумя призмами из *исландского шпата*, склеенными плоскостями (вдоль направления *AB*) *канадским бальзамом* с показателем преломления  $n = 1,55$  — обыкновенный луч (для него —  $n_o = 1,66$ ) испытывает *полное внутреннее отражение* (поскольку канадский бальзам для него — среда оптически менее плотная). Плоскополяризованный же необыкновенный луч ( $n_e = 1,51$ ) выходит из призмы (оптическая ось призмы *OO'* составляет с входной гранью угол  $48^\circ$ ).

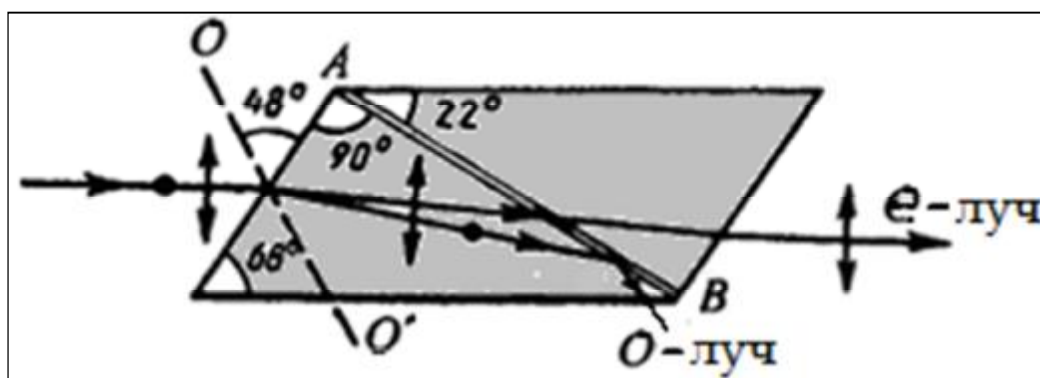


Рисунок 2 – Сечение призмы Николя. Призмы склеены канадским бальзамом, *OO'* – направление оптической оси исландского шпата. Точками и стрелками условно указано направление колебаний в лучах.

Двулучепреломляющие кристаллы обладают свойством *дихроизма* — различного поглощения света в зависимости от ориентации светового вектора в волне. *Дихроичные кристаллы* используются при производстве *поляроидов* — тонких пленок, в которые вкраплены кристаллики веществ с сильно выраженным дихроизмом. Обычно дихроичная пленка представляет собой нитро- или ацетилцеллюлозную пленку, в которую внедрены микроскопические кристаллики *герапатита* (периодат бисульфата хинина). Этот материал был предложен Герпатом в 1852 г. Чешуйка герапатита толщиной всего  $\sim 0,1$  мм является совершенным по-

ляризатором – тонкий слой такого вещества почти полностью поглощает проходящий через него линейно поляризованный в одном из направлений луч света.

## **НАВЕДЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ**

Изотропные оптические материалы могут превращаться в анизотропные при внешнем воздействии. Изотропные кристаллы и жидкости, а также пластмассы и стекла, становятся анизотропными под действием:

- внешних механических напряжений или неравномерного нагрева (*явление фотоупругости*);
- приложенного к образцам материалов электрического поля (квадратичный электрооптический эффект, обычно именуемый *эффектом Керра*, и линейный электрооптический эффект, известный как *эффект Погкельса*);
- приложенного магнитного поля (*эффект Коттона – Муттона*); в магнитном поле также возможна наведенная оптическая активность среды (явление, известное как *эффект Фарадея*, следствием которого является магнитное вращение плоскости поляризации).

Искусственная оптическая анизотропия веществ под действием электрического поля (*эффект Керра*) объясняется различной поляризуемостью молекул вещества по разным направлениям. Разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей при этом определяется так:  $n_0 - n_e = B\lambda E^2$ , где  $E$  — напряженность приложенного электрического поля,  $\lambda$  — длина волны света,  $B$  — постоянная Керра, которая зависит от температуры и природы вещества. В эффекте Коттона–Муттона (магнитном аналоге эффекта Керра) разность показателей преломления у ряда изотропных материалов при помещении их в сильное внешнее магнитное поле имеет схожую зависимость от величины напряженности магнитного поля  $H$ :  $n_0 - n_e = C\lambda H^2$ , здесь  $C$  — постоянная Коттона–Муттона, которая также определяется температурой и природой вещества. При этом индуцированная оптическая ось совпадает с направлением деформации, электрического или магнитного полей. Эти явления находят разнообразные применения: эффекты Керра и Погкельса для создания электрооптических затворов (электронных устройств управления светом); эффект Фарадея в оптических вентилях, пропускающих свет только в одном направлении.

Подробнее остановимся на *фотоупругости* – эффекте, особо значимом для методики исследования механических напряжений в телах сложной формы. Двойное лучепреломление способно возникать в образцах прозрачных изотропных материалов вследствие изменения взаимного расположения образующих их молекул под влиянием различных внешних деформаций. Мерой оптической анизотропии является разность  $\Delta n$ , которая пропорциональна нормальному напряжению  $\sigma$  (т.е. силе, приходящейся на единицу площади):

$$n_0 - n_e = sk \quad , \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент фотоупругости, зависящий от оптических свойств вещества и длины волны света. При толщине образца  $d$  оптическая разность хода  $\Delta$  между

обыкновенным и необыкновенным лучами, выходящими из образца, составит величину:

$$\Delta = (n_0 - n_e)d = skd . \quad (2)$$

В настоящей работе определение величины двойного лучепреломления полимерных материалов (прозрачных пластинок из пластмассы), возникающего вследствие фотоупругости, основано на явлении *хроматической поляризации*, суть которого представляет интерференция поляризованных лучей. *Хроматическая поляризация* – появление окраски при прохождении белого света через оптическую систему поляризатор – среда – анализатор.

### **ХРОМАТИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ В АНИЗОТРОПНОМ ОБРАЗЦЕ**

Если недеформированная прозрачная пластинка из материала  $M$  помещается между скрещенными поляризатором  $P$  и анализатором  $A$  (рис. 3), то такая система света не пропускает (практически – сильно ослабляет). При деформации пластинки  $M$  возникает анизотропия, эквивалентная естественной анизотропии кристалла с оптической осью  $OO'$ , и свет через такую систему начинает проходить (интенсивность прошедшего света возрастает).

Рассмотрим интерференцию поляризованных лучей и применение этого явления для исследования механических напряжений при деформациях прозрачных изотропных тел (пластмасса, стекло или плексиглас), так как механические деформации в таких телах создают оптическую анизотропию и делают их двоякопреломляющими. Например, при одностороннем сжатии или растяжении пластмассовой (или стеклянной) пластинки она приобретает свойства одноосного кристалла, оптическая ось которого совпадает с направлением растяжения или сжатия.

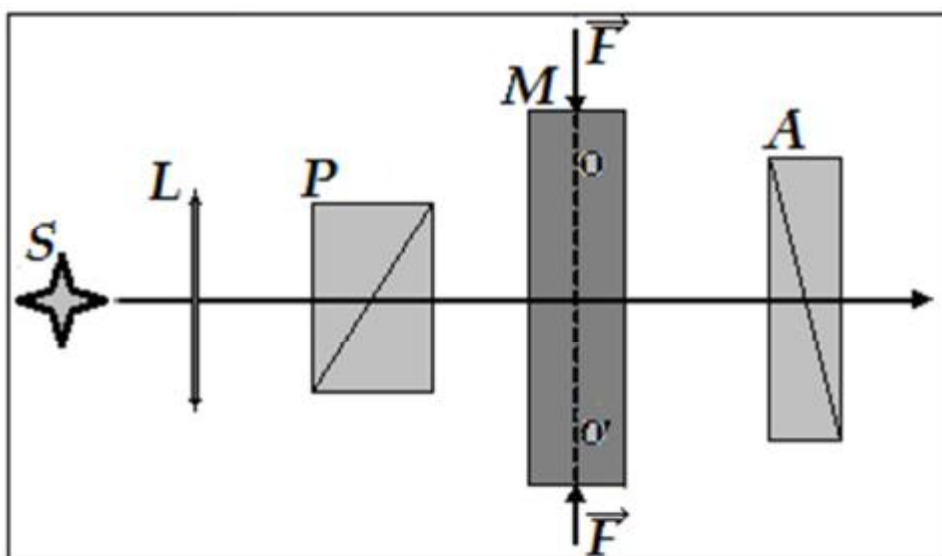


Рисунок 3 – Расположение элементов в оптической системе поляризатор – среда – анализатор.  $L$  – линза, в фокусе которой расположен источник света  $S$ , позволяет получить параллельный пучок световых лучей; вертикальными стрелками указано направление действия сил  $F$ , вызывающих деформацию.

*Интерференция света* – это наложение когерентных световых волн друг на друга, при котором в одних точках пространства волны усиливают друг друга (максимумы), а в других - ослабляют друг друга (минимумы). Световые волны считаются когерентными, если их источники колеблются в одинаковых фазах и волны в каждую точку приходят с разностью фаз  $\Delta j$ , не зависящей от времени и определяемой только оптической разностью  $\Delta$  их хода. Колебания светового вектора в этих волнах происходит в одном направлении. Идеально когерентными в этих условиях являются волны одной частоты.

В поляризаторе  $P$  параллельный световой пучок приобретает определенную поляризацию. После прохождения анизотропной среды (образца  $M$ ) лучи, образующие пучок, испытывают двулучепреломление. Обыкновенные и необыкновенные составляющие лучей когерентны, при этом приобретают разность хода  $\Delta$ , определяемую различием  $n_0 - n_e$ . Интерференционную картину, образованную сложением идущих в них колебаний, тем не менее, наблюдать невозможно, поскольку лучи поляризованы в ортогональных (взаимно перпендикулярных) плоскостях. При наложении таких волн взаимного усиления или гашения колебаний светового вектора не происходит. На выходе же из анализатора плоскости поляризации обыкновенных и необыкновенных лучей ориентированы одинаково, разность хода сохраняется, поэтому и становится наблюдаемым явление хроматической поляризации.

В том случае, когда толщина  $d$  пластинки  $M$  в различных местах неодинакова, а разность  $n_0 - n_e = Const$ , то и значения разности фаз  $\Delta j$  также различны. Поэтому при наблюдении через анализатор в белом свете эта пластинка приобретает причудливую разноцветную окраску, причем каждая цветная, интерференционная линия (*изохромата*) проходит через те точки пластинки, где ее толщина  $d$  одинакова. Аналогичная картина наблюдается в пластинке, толщина которой всюду одинакова, но различны разности показателей преломления  $n_0 - n_e$ . В этом случае изохроматы соединяют точки, для которых разность  $n_0 - n_e$  одинаковы.

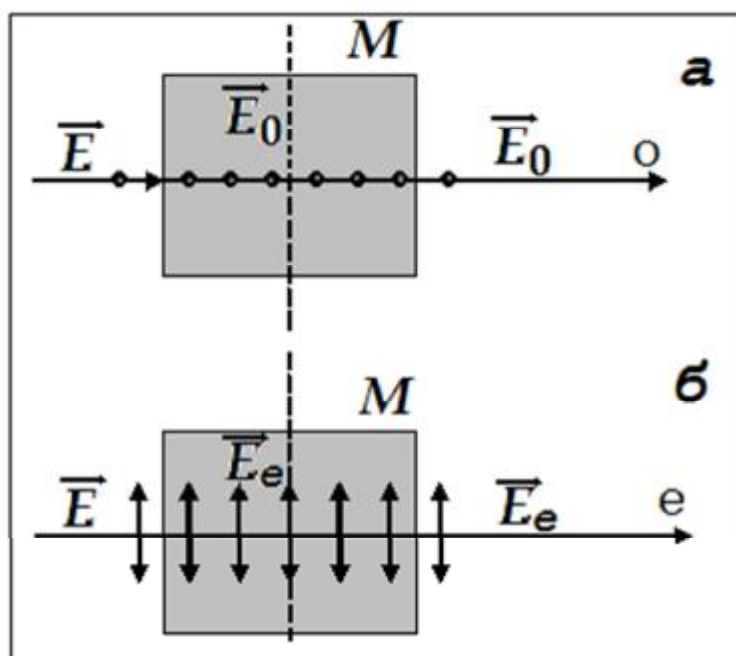


Рисунок 4 – Поляризация световых волн в обыкновенных и необыкновенных лучах



Если в схеме, изображенной на рис.3, убрать поляризатор  $P$ , интерференционная картина исчезнет. Это связано с тем, что на образец материала  $M$  падает естественный свет, представляющий собой набор элементарных электромагнитных волн с частотами, соответствующими видимому диапазону шкалы электромагнитных волн. Каждая из элементарных волн участвует в возбуждении обыкновенных и необыкновенных волн, однако их вклады в обыкновенную и необыкновенную волны неодинаковы и зависят от угла между плоскостью их колебаний и главной плоскостью образца  $M$ . Так, например, элементарная волна, световой вектор которой совершает колебания в плоскости, перпендикулярной главной плоскости материала, возбуждает только обыкновенную волну, а элементарная волна, световой вектор которой совершает колебания в главной плоскости кристалла, - только необыкновенную (см. рис. 4,*а* и 4,*б*). Значит, необыкновенная и обыкновенная волны в основном порождаются разными элементарными волнами, входящими в состав естественного света. Поскольку элементарные волны естественного света некогерентны, то и возникающие из них в кристалле обыкновенные и необыкновенные волны также некогерентны и интерференция их невозможна.

Таким образом, поместив деформированную прозрачную пластинку между поляризатором  $P$  и анализатором  $A$  (на место анизотропного образца  $M$ ), можно наблюдать интерференционную картину (явление хроматической поляризации). По виду изохромат можно судить о распределении напряжений внутри прозрачного образца, так как каждая изохромата проходит через точки, в которых величина напряжений  $\sigma$  одинакова, т.е. каждая полоса соответствует одинаково деформированным местам пластинки.

Явление двойного лучепреломления положено в основу оптического метода исследования напряжений. Изготовленная из прозрачного материала (плексигласа) модель какой-либо детали или конструкции помещается между скрещёнными поляризатором и анализатором. Модель подвергается действию нагрузок, аналогичных тем, которые будет испытывать само изделие. По характеру и расположению интерференционных полос наблюдаемая в проходящем белом свете картина при этом позволяет определить распределение напряжений и их величину. Такой метод изучения деформаций на прозрачных моделях называется *методом фотоупругости* (или методом хроматической поляризации) и применяется в технической диагностике механических свойств материалов.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Последовательность расположения элементов лабораторной установки (рис.5), в основном, повторяет схему рисунка 3.

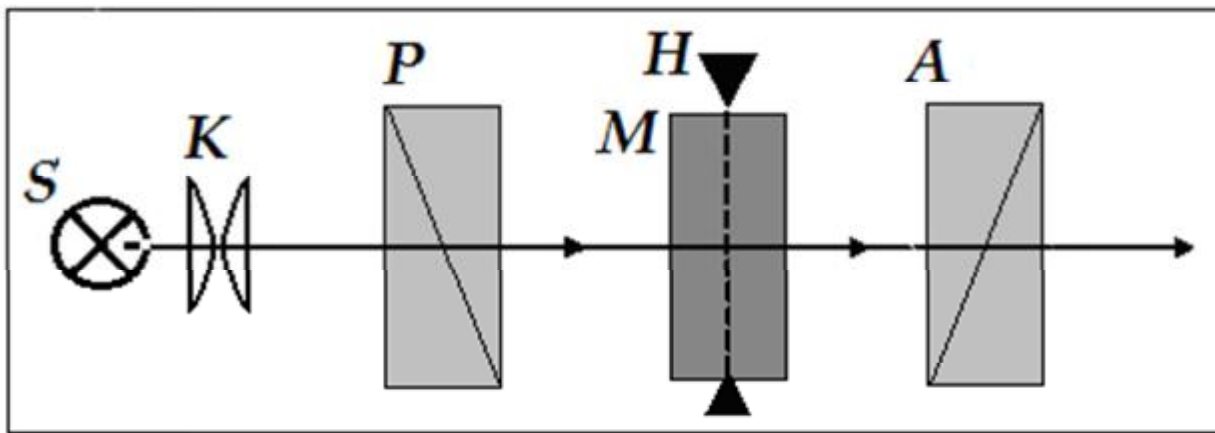


Рисунок 5 – Схема лабораторной установки по наблюдению хроматической поляризации

Свет на поляризатор  $P$  направляет конденсор  $K$ , в фокусе которого располагается источник света  $S$ . Вышедший из поляризатора пучок поляризованного света разлагается установленным на опоре  $H$  образцом из двулучепреломляющего материала  $M$  на обыкновенные и необыкновенные лучи. При выходе из двулучепреломляющего образца лучи идут по одному направлению с определенной разностью хода. При этом интерференция света не наблюдается, поскольку световые векторы в обоих лучах совершают колебания в разных плоскостях. После прохождения анализатора  $A$  лучи интерферируют – сквозь пластинку анализатора визуальна устанавливается характерное для явления хроматической поляризации возникновение окраски на поверхности образца.

## МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

### *Упражнение 1. Наблюдение интерференции поляризованных лучей.*

1. Установить на оптической скамье поляризатор  $P$ , анализатор  $A$ , между ними набор слюдяных пластинок.
2. Включить лампу осветителя в сеть переменного тока.
3. Вращая поляризатор, пластинки слюды или анализатор, наблюдать интерференцию обыкновенных и необыкновенных лучей в белом свете. Обратит внимание на характер интерференционной картины при скрещённых и параллельных анализаторе и поляризаторе. Зарисовать наблюдаемую картину интерференции.
4. Снять поляризатор и наблюдать картину при вращении анализатора.
5. Снять анализатор и наблюдать картину при вращении поляризатора.
6. Объяснить все рассмотренные физические явления.

### *Упражнение 2. Наблюдение интерференции поляризованных лучей при искусственной анизотропии.*

1. Установить на оптической скамье поляризатор и анализатор.
2. Установить главные плоскости поляризатора и анализатора под углом  $90^\circ$ .

3. Расположить между поляризатором и анализатором прозрачный образец с наличием остаточной деформации.
4. Зарисовать наблюдаемую картину.
5. Вращая анализатор, поляризатор или образец, наблюдать интерференционную картину.
6. Снять поляризатор и наблюдать картину при вращении анализатора.
7. Снять анализатор и наблюдать картину при вращении поляризатора.
8. Наблюдать наличие остаточной деформации в прокатном листе целлофана, помещая его между скрещенными анализатором и поляризатором (повторить п.п. 5-8).
9. Установить между скрещенными анализатором и поляризатором оправу с плексигласовой деталью. Осторожно вращая винт на оправе, сжимать деталь, наблюдать появление света при наличии деформации в детали и изменения в распределении нагрузок при деформации.
10. Зарисовать наблюдаемую картину.
11. Вращая анализатор, наблюдать интерференционную картину.
12. Объясните все рассмотренные физические явления.

### ***Упражнение 3. Наблюдение картины напряжений.***

Образец (прозрачную модель №1, рис. 6), установить в прессе для сжатия (не зажимать его) между поляризатором и анализатором. Наблюдать через анализатор положение образца. Затем произвести деформацию сжатия. Для этого не очень сильно завинтить винт. Вращая анализатор, получить максимальную яркость интерференционной картины. Рассмотреть картину интерференции и зарисовать изохроматы.

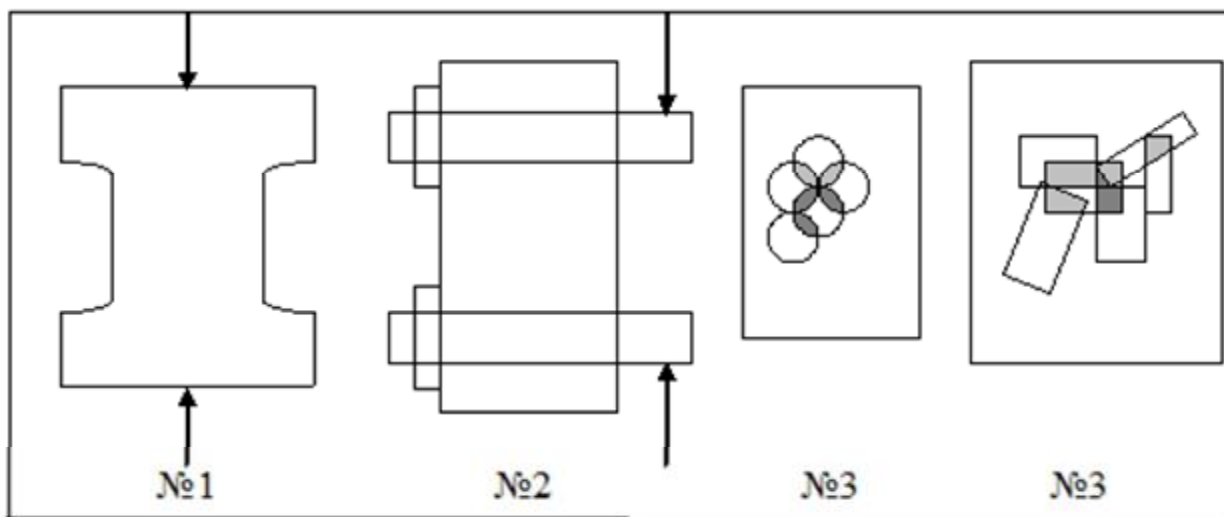


Рисунок 6 – Вид используемых для наблюдения образцов

1. Модель №2 испытать на изгиб. При этих испытаниях на направление черной линии, заметной между остальными цветными изохроматами и на изгибы линий в тех местах пластинки, на которые непосредственно действуют зажимы. Черная линия соответствует нейтральному слою при изгибе, а изгибы линий вблизи точек опоры винтов указывают на неоднородное распределение напряже-

ний. При деформации изгиба слои стержня, лежащие ближе к выпуклой стороне *A*, должны испытывать растяжение, а слои, лежащие ближе к вогнутой стороне *B* стержня, должны испытывать сжатие. Между зонами сжатия и растяжения находится очень тонкий слой, этот слой называется нейтральным.

**Упражнение 4. Определение разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.**

1. Поместить образец с наличием остаточной деформации между поляризатором и анализатором. Вращать анализатор до появления яркой интерференционной картины. По наблюдаемой окраске найти разность хода по таблице. По мере возрастания разности хода *D* окраска образца в белом свете будет меняться, причём некоторые цвета будут периодически повторяться, например: красный, фиолетовый, зелёный, образуя интерференционные спектры первого, второго, третьего и т.д. порядков. Различные цвета первых двух порядков очень яркие и им соответствует вполне определённая разность хода. При большой разности хода цвета бледнеют и совсем пропадают. Образец делается бесцветным.

2. Вычислить разность показателей преломления по формуле (2):  $n_0 - n_e = D/d$  для наиболее ярких изохромат (*d* – толщина образца, *D* – разность хода между лучами). Толщину *d* измерить, значение *D* взять из таблицы.

<b>Таблица интерференционных цветов в напряжённом образце в зависимости от разности хода <i>D</i></b>			
Цвет 1 порядка	Разность хода <i>D</i> , (нм)	Цвет 2 порядка	Разность хода <i>D</i> , (нм)
Жёлтый	<b>325</b>	Красный	<b>25</b>
Жёлто-зелёный	<b>275</b>	Оранжевый	<b>130</b>
Зелёный	<b>200</b>	Светло-жёлтый	<b>200</b>
Голубовато-зелёный	<b>145</b>	Жёлтый	<b>260</b>
Голубой	<b>115</b>	Белый	<b>310</b>
Пурпурно-фиолетовый	<b>0</b>		

3. Нагрузив образец №1, получить наиболее яркую интерференционную картину. По наблюдаемой окраске найти разность хода *D* по таблице. По формуле  $n_0 - n_e = D/d$  вычислить разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для наблюдаемых изохромат.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1 В чём заключается свойство оптической анизотропии материала?
- 2 В чём состоит явление двойного лучепреломления?
- 3 Что понимают под оптической осью кристалла?
- 4 Каковы свойства обыкновенного и необыкновенного лучей?
- 5 Объяснить назначение и действие призмы Никóля. Какое явление положено в основу действия поляризаторов на основе поляроидных плёнок?
- 6 Сформулировать и обосновать условия наблюдения интерференции поляризованных лучей, прошедших дwoякопреломляющий кристалл.
- 7 Каков характер поляризации света, прошедшего только через поляризатор и кристалл (анализатор отсутствует).
- 8 Почему не происходит интерференция света при отсутствии поляризатора или анализатора в установке?
- 9 Почему в отсутствие светофильтра интерференционная картина имеет вид цветных полос?
- 10 Расскажите об известных механизмах создания искусственной оптической анизотропии в изотропных материалах.
- 11 Описать основные закономерности эффектов Керра и Коттон–Муттона.
- 12 Поясните возникновение интерференционной картины при деформации плексигласовой детали.
- 13 Чем определяется величина двойного лучепреломления при искусственной анизотропии в фотоупругих материалах?

## Список использованных источников

- 1 **Детлаф А. А.** Курс физики: учебное пособие / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. - 5-е изд., стереотип. - М.: Академия, 2005. - 720 с.
- 2 **Зисман Г. А.** Курс общей физики: учебное пособие. – Т.3. Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. - 5-е изд., стереотип. - М.: Наука, 1972. - 496 с.
- 3 **Савельев И.В.** Курс физики: учебник – Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев. - М.: Наука, 1989. - 304 с.
- 4 **Трофимова Т. И.** Курс физики: учебн. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - 6-е изд. стереотип. - М.: Высшая школа, 2000. - 542 с.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ  
ИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ.**

Методические указания

Составители

Юревич В. А.,  
Тимощенко Е.В.,  
Забиран Т.В.

Редактор А. А. Щербакова

Технический редактор Т. В. Багуцкая

Подписано в печать      Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л.      Уч.-изд. л.  
Тираж \_\_\_\_\_ экз.      Заказ \_\_\_\_\_

Учреждение образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия».  
ЛИ № 02330/0131913 от 08.02.2007.  
пр-т Шмидта, 3. 212027, Могилев.

Отпечатано в учреждении образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия».  
пр-т Шмидта, 3. 212027, Могилев.