**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |
| Факультет | И | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | И1 | | | | | | |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |
| Выпускающая кафедра | И1 | |  | | Борейшо А.С. | | |  | | | |  | | | | | | | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | И1М31 | |  | « 20 » | | декабря | | | | | | | | | | 2018 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | | | учебной | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Колосовой Татьяны Владимировны | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | 12.04.05 | | |  | | Лазерная техника и лазерные | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
| технологии | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики:** | | | | | Погода А.П., к.ф.-м.н., преподаватель | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | с | | 01.09.2018 | | | | | | г. |  | по | 21.12.2018 | | | г. | | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | **магистрант** | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики:** | | | |  | | |  |  | | | | |  | | | | | |
|  | | |  | Погода А.П. | | |  | |  | | |  | |  | | | | |
| Подпись | | |  | Фамилия ИО | | |  | |  | | | |  | |  | | |
| « 20 » |  | \_\_\_\_\_\_\_декабря\_\_\_\_\_\_\_ | | |  | 2018 г. |  |  | |  |  | | | | |  |  | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

**Содержание**

[1. Обзор материально-технического обеспечения кафедры 3](#_Toc535540656)

[2. Участие в образовательном процессе 4](#_Toc535540657)

[2.1. Сборка экспериментального стенда для проведения учебных лабораторных исследований в рамках кафедры 6](#_Toc535540658)

[2.1.1. Теоретическая справка 6](#_Toc535540659)

[2.1.2. Ход лабораторной работы 8](#_Toc535540660)

# 1. Обзор материально-технического обеспечения кафедры

Лабораторно-техническая база кафедры – научно-образовательный центр «Институт лазерной техники и технологий» (НОЦ «ИЛТТ»). Данная лаборатория оснащена на уровне ведущих университетских лабораторий. Такой уровень для ИЛТТ стал возможен вследствие выполнения ряда крупных государственных контрактов на проведение научно-исследовательских работ, а так же из-за сотрудничества с НПП «Лазерные системы». Перечень оборудования кафедры постоянно пополняется единицами оптического оборудования и измерительных приборов, необходимых для исследования в текущих проектах.

В данный момент на кафедре находятся несколько импульсных Nd:Yag лазеров с ламповой и импульсной накачкой. Кроме того на кафедре имеются различные линзы и зеркала, 2 измерителя мощности, осциллографы и спектрометр.

Табл.1. Перечень оборудования отдела

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категория | Позиция | Комментарий |
| Активные элементы | Nd:YAG | Параллелепипед 5х6х110 – 4 шт.  Цилиндрический 6,35х100 – 1 шт.  Цилиндрический 6,5х130 – 1 шт.  Цилиндрический 7х175 – 1 шт. |
| Nd:YLF | Матированный – 1 шт.  Полированный – 1 шт. |
| Нелинейные кристаллы | КТР | 3 шт. |
| DKDP | 266 нм – 3 шт.  532 нм – 2 шт. |
| BBO | 450 нм – 4 шт  300 нм – 4 шт. |
| Волновые пластины |  | Полуволновые – 2 шт.  Четветьволновые – 2 шт. |
| Затворы | LiF:F2- | 5 шт. |
| YAG:Cr4+ | 2 шт. |
| GSGG:Cr4+ | 4 шт. |
| Активный затвор | 1 шт. |
| Поляризаторы | Призмы Глана | 2 шт. |
| Плёночные поляризаторы | 2 шт. |

Закупка нового оборудования, в основном, ведется в рамках проведения научно-исследовательских работ, так что закупаемое оборудование в первую очередь должно быть применимо к исследованиям, производимым в момент закупки. Для закупки оборудования в БГТУ «Военмех» позиции оборудования необходимо найти несколько поставщиков, запросить у них коммерческие предложения. Закупки по грантам в БГТУ «Военмех» проходят на конкурсной основе из поданных коммерческих предложений.

# 2. Участие в образовательном процессе

В рамках изучения режимов работы лазера отдельно стоит отметить режим модуляции добротности. Режим модулированной добротности реализуется при импульсной работе лазера, когда за сравнительно большой промежуток времени за счет энергии накачки происходит значительное накопление частиц на верхнем рабочем уровне активного вещества, а излучение происходит в виде очень коротких импульсов с высокой пиковой мощностью ("гигантских" лазерных импульсов). Мощность гигантского импульса тем больше, чем значительнее превышение начальной инверсной заселенности (реализуемой в условиях низкой добротности резонатора) над пороговым значением инверсной заселенности (отвечающим высокой добротности резонатора).

Идея заключается в том, что сначала обеспечивается высокий уровень вредных потерь, а затем уровень потерь быстро понижается до минимального значения. Специально поднятый вредными потерями порог генерации позволяет создать значительную инверсию населенности в активной среде, когда же порог генерации быстро снижается до минимально возможного значения, то оказывается, что начальная величина инверсной заселенности существенно выше нового порога, и из-за этих условий формируется единичный короткий световой импульс большой мощности вместо последовательности пичков.

Изменения уровня порога генерации контролируются затворами. Если затвор «открыт», то потери низки (добротность резонатора высока); если затвор «заперт», то потери высоки (добротность резонатора низка). Очевидно, что переходы оптического затвора из «запертого» состояния в «открытое» должны быть синхронизированы с импульсами накачки: затвор должен «открываться» после того, как достигнута достаточно высокая инверсная населенность рабочих уровней. Затворы делятся на активные и пассивные. В активных затворах в резонатор помещают модулятор (переключатель потерь), управляемый внешним сигналом. Под воздействием сигнала изменяется пропускание затвора, а, следовательно, и потери в резонаторе. В пассивных затворах влияние на потери извне невозможно, а переключение происходит благодаря физическим свойствам самого затвора.

Для лаборатории более интересен активный затвор – управление переключателем потерь позволяет достичь больших мощностей импульса при модуляции добротности на том же лазере относительно пассивного затвора. Одним из видов активных затворов является затвор на эффекте Поккельса.

Таким образом, в рамках лаборатории возможно проведение лабораторной работы « Активный затвор, основанный на эффекте Поккельса».

## 2.1. Сборка экспериментального стенда для проведения учебных лабораторных исследований в рамках кафедры

### 2.1.1. Теоретическая справка

Эффектом Поккельса называется изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля, причем это изменение пропорционально напряжённости электрического поля, то есть эффект носит линейный характер. Как следствие эффекта Поккельса в кристалле появляется двойное лучепреломление или меняется его величина, если кристалл был двулучепреломляющим в отсутствие поля. Изменение показателя преломления кристаллов под действием внешнего электрического поля происходит исключительно за счёт анизотропных свойств кристаллов. Под действием постоянного электрического поля электроны смещаются в сторону того или иного иона, при этом изменяется поляризуемость среды и связанный с ней показатель преломления.

Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. Вследствие линейности эффекта относительно внешнего поля Eэл при изменении направления поля на противоположное должен меняться на противоположный и знак изменения показателя преломления ∆n, но в кристаллах с центром симметрии оба взаимно противоположных направления внешнего поля физически эквивалентны. Так как эффект Поккельса связан с изменением электронной поляризуемости под действием электрического поля, то он практически безынерционен — быстродействие устройств на его основе меньше с.

Если кристалл поместить между двумя скрещенными поляроидами таким образом, что в отсутствие внешнего электрического поля пропускание света системой будет равно нулю, то при подаче на кристалл внешнего поля появится наведенное двулучепреломление, которое изменит поляризацию прошедшего через кристалл света, и такая система начнет пропускать свет.

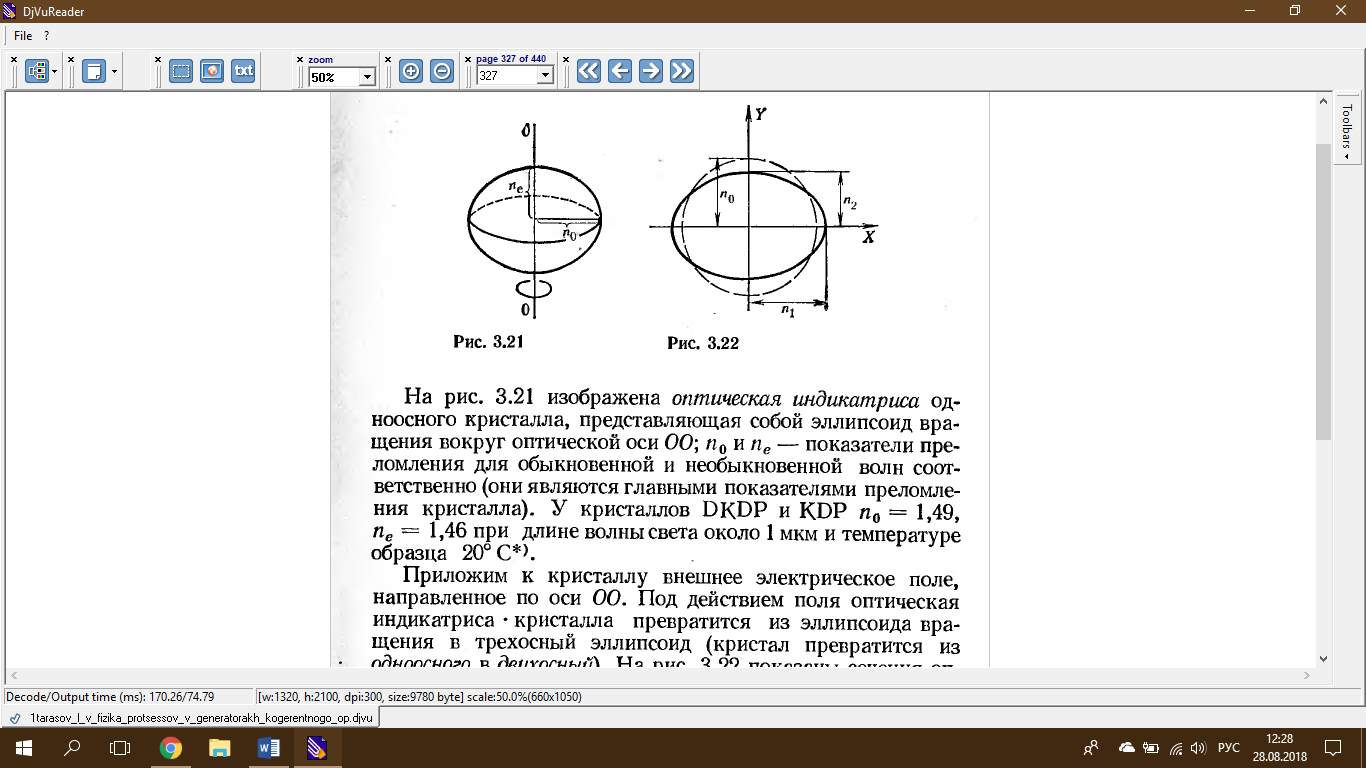
**

Рис. 2.1.Оптическая индикатрисса кристалла до подачи напряжения

На рис. 2.1 изображена оптическая индикатрисса одноосного кристалла, представляющая собой эллипсоид вращения вокруг оптической оси ОО’; n0 и ne - показатели преломления для обыкновенной и необыкновенной волн соответственно. При приложении к кристаллу внешнего электрического поля, направленного по оси OO’, оптическая индикатрисса кристалла превратится из эллипсоида вращения в трехосный эллипсоид (кристалл превратиться из одноосного в двухосный).

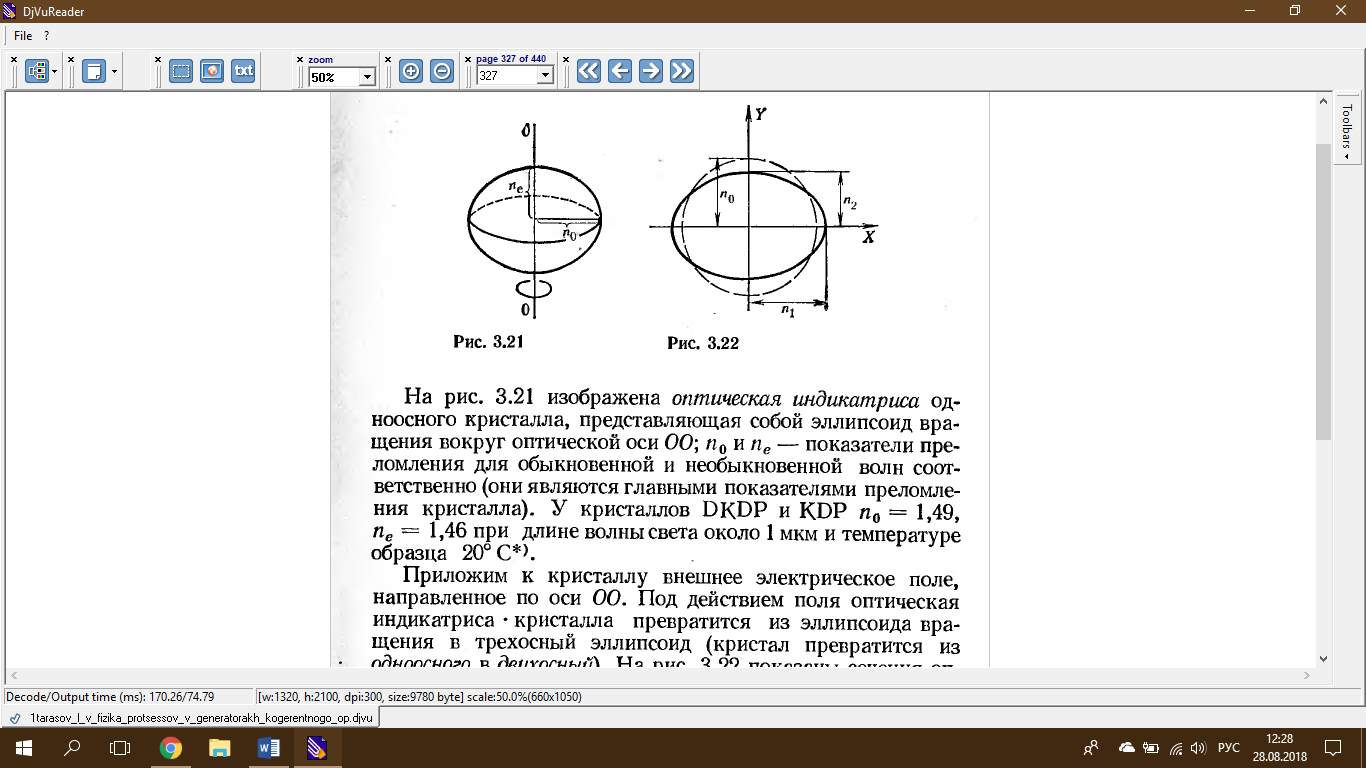
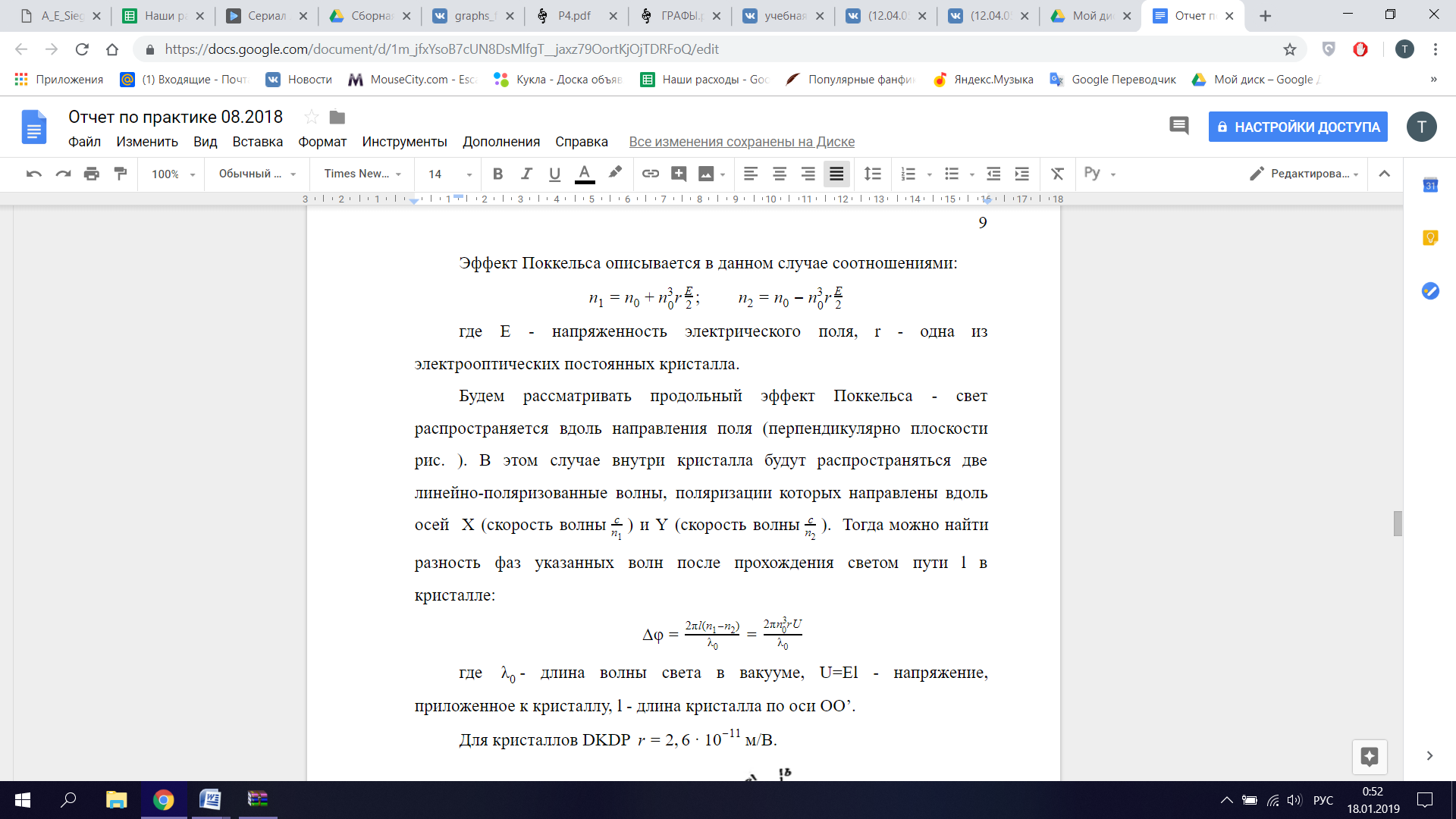
**

Рис. 2.2.Оптическая индикатрисса кристалла после подачи напряжения

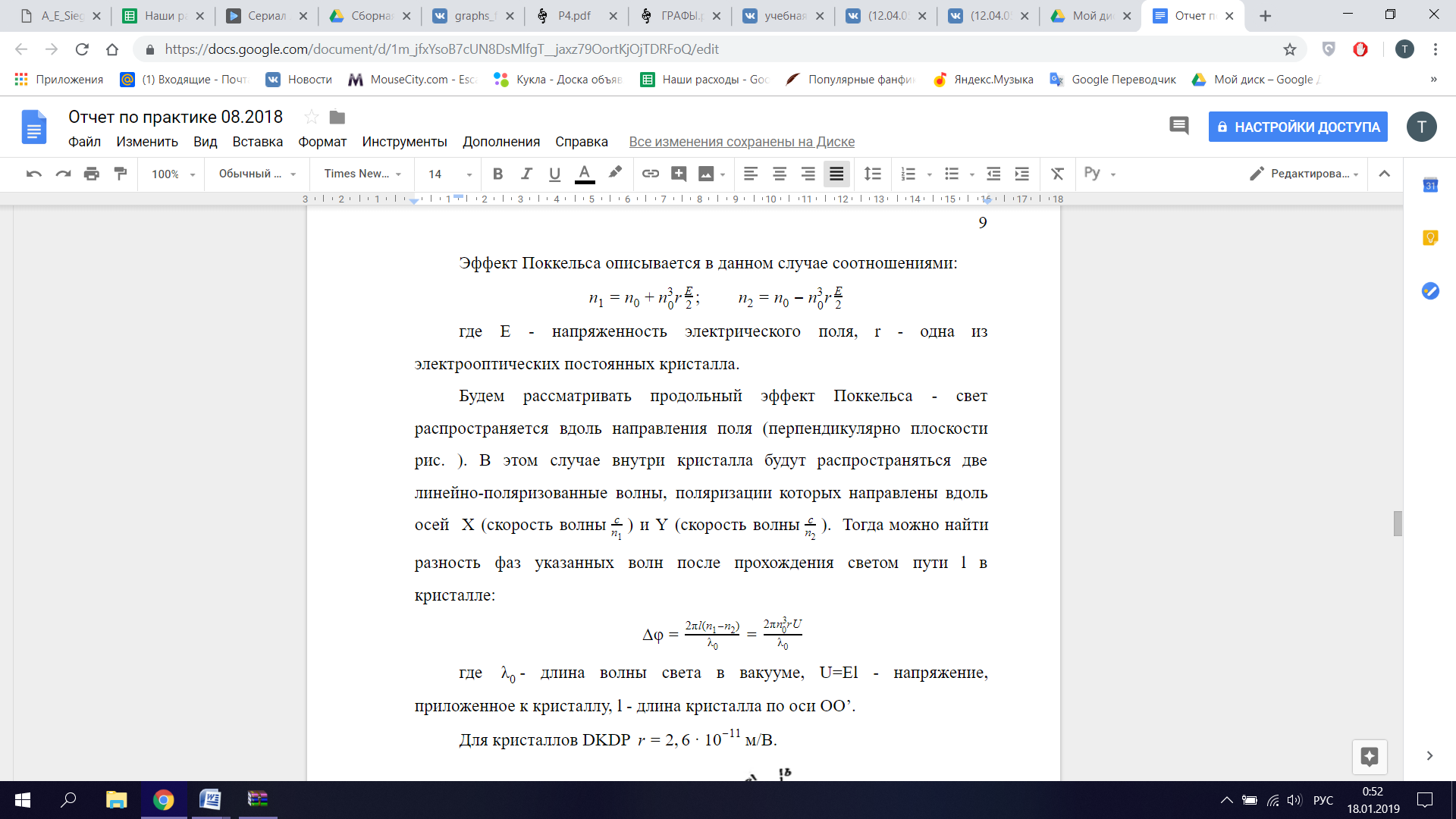
На рис. 2.2 показаны сечения оптической индикатриссы плоскостью, перпендикулярной оси OO’ (перпендикулярной к оси приложенного поля). Штриховая линия - до включения поля, непрерывная - после включения поля. Главные показатели преломления после включения n1, n2, ne, главные диэлектрические оси - X, Y, Z (перпендикулярна плоскости рисунка).

Эффект Поккельса описывается в данном случае соотношениями:



где E - напряженность электрического поля, r - одна из электрооптических постоянных кристалла.

Будем рассматривать продольный эффект Поккельса - свет распространяется вдоль направления поля (перпендикулярно плоскости рис.2.1.2). В этом случае внутри кристалла будут распространяться две линейно-поляризованные волны, поляризации которых направлены вдоль осей X (скорость волны) и Y (скорость волны). Тогда можно найти разность фаз указанных волн после прохождения светом пути l в кристалле:



где - длина волны света в вакууме, U=El - напряжение, приложенное к кристаллу, l - длина кристалла по оси ОО’.

Для кристаллов DKDP  м/В.

### 2.1.2. Ход лабораторной работы

Для реализации данной лабораторной работы необходимо:

* импульсный лазер
* кристалл DKDP, подключенный к системе управления
* поляризаторы (1 или 2)
* четвертьволновая пластина
* измеритель мощности
* осциллограф
* блок питания системы управления затвором
* подвижки для крепления оборудования на стол, в частности поворотная подвижка для крепления кристалла DKDP.

Так как в лаборатории используются мощные лазеры на Nd:Yag, то в качестве поляризаторов недопустимо использовать пленочные поляризаторы – мощности лазера хватит, чтобы прожечь их.

Для активного затвора на основе эффекта Поккельса есть две принципиальные схемы работы – четвертьволновая схема и полуволновая схема.

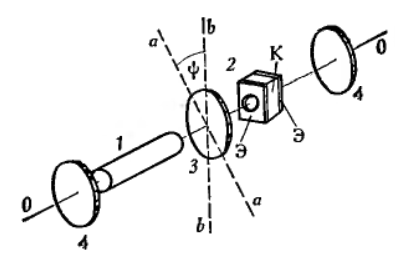


Рис. 2.3. Четвертьволновая схема.

Обобщенная концепция установки для четвертьволновой схемы представлена на рисунке 2.3. На чертеже изображен резонатор, внутри которого находятся, помимо активной среды, один поляризатор и кристалл DKDP, подключенный к пульту управления, в котором и происходит эффект Поккельса.

При применении четвертьволновой схемы на кристалл DKDP подается напряжение  для открытого затвора и  для закрытого затвора.

1. Затвор закрыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, меняя свою поляризацию на круговую. Далее излучение отражается от закрытого зеркала и снова проходит через кристалл DKDP, снова изменяя свою поляризацию на линейную, с отклонением на угол 2α от исходной линейной поляризации, повышая тем самым уровень вредных потерь.
2. Затвор открыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, меняя свою поляризацию на линейную, с отклонением на угол 2α от исходной линейной поляризации. Далее излучение отражается от закрытого зеркала и снова проходит через кристалл DKDP, снова изменяя свою поляризацию на линейную, возвращая себе исходный наклон поляризации, то есть беспрепятственно выходя из поляризатора. Уровень вредных потерь минимален.

Кроме того существуют вариант этой схемы с фазовой пластинкой. Использование фазовой пластинки позволяет избегать наличия постоянного запирающего смещения на двулучепреломляющем кристалле. Присутствие высоковольтного запирающего смещения способствует протеканию электрохимических процессов в кристалле модулятора, что, в конечном итоге, приводит к его повреждению.

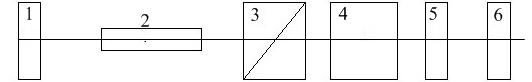
**

Рис. 2.4. Оптическая схема четвертьволновой ячейки Поккельса с фазосдвигающей пластинкой: 1 — выходное зеркало; 2 — активный элемент; 3 — поляризатор; 4 — электрооптический кристалл; 5 — четвертьволновая пластина; 6 — глухое зеркало

Недостатком данной оптической схемы является некоторое усложнение процесса юстировки по сравнению со схемой, не содержащей четвертьволновой пластинки. Кроме того, требуемая точность изготовления фазовой пластинки достаточно высокая. Однако отсутствие постоянного запирающего напряжения амплитудой в несколько киловольт является существенным достоинством данного технического решения.

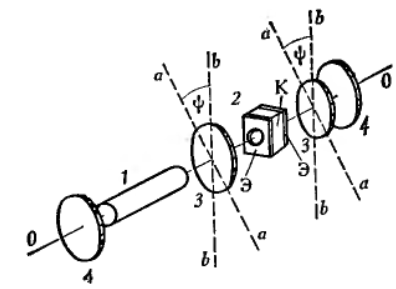


Рис. 2.5. Полуволновая схема

Обобщенная концепция установки для полуволновой схемы представлена на рисунке 2.5. На чертеже изображен резонатор, внутри которого находятся, помимо активной среды, два поляризатора и кристалл DKDP, подключенный к пульту управления.

При применении полуволновой схемы на кристалл DKDP подается напряжение  для открытого затвора и  для закрытого затвора.

1. Затвор закрыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит первый поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, получая линейную поляризацию с отклонением на угол 2α от исходной поляризации, повышая тем самым уровень вредных потерь, т.к. лишь часть излучения пройдет через второй поляризатор.
2. Затвор открыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит первый поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, получая линейную поляризацию с отклонением на угол α от вертикали. Так как ось поляризации волны совпадает с осью поляризации выходного поляризатора, то излучение полностью пройдет – уровень вредных потерь снизится до минимального значения.

Студентам предлагается по собранной установке определить, какая принципиальная схема работы активного затвора используется, при помощи поворотных подвижек добиться закрытого состояния путем вращения поляризаторов. После этого, включить блок питания системы управления затвором, синхронизированный с накачкой активной среды, и подать на кристалл DKDP напряжение для открытия затвора. Измерить получившиеся импульсы с помощью измерителя мощности и осциллографа. Сравнить полученные показания с свободным режимом генерации данного лазера и с показаниями, полученными в результате предшествующих лабораторных работ с использованием пассивных затворов. Результатом лабораторной работы является отчет, содержащий описание установки с подробным объяснением функции каждого элемента, результаты измерений, сравнительную таблицу режимов генерации (свободный, различные пассивные затворы, активный затвор) и выводы.