

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.08.2022 14:25:06  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc3ad1bf75f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:



Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Введение в физику жидких кристаллов**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Самсонов В.М.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Введение в физику жидких кристаллов

### **2. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является:

Формирование основных представлений физики жидких кристаллов как перспективного и стремительно развивающегося направления современной физики – конденсированного состояния вещества.

Задачами освоения дисциплины являются:

- \_\_ рассмотреть исторические сведения о первых работах, посвящённых синтезу жидких кристаллов,
- \_\_ познакомить с различными теоретическими работами, объясняющими наблюдаемые оптические явления в жидких кристаллах,
- \_\_ освоить классификацию жидких кристаллов и методы их идентификации,
- \_\_ дать представление о феноменологической теории упругости, используемой для анализа основных физических свойств жидких кристаллов: диэлектрических, оптических, электрооптических,
- \_\_ рассмотреть ориентационные эффекты: влияние опорных поверхностей, магнитных и электрических полей,
- \_\_ при выполнении спецпрактикума по физике жидких кристаллов ознакомить студентов с теорией фазовых переходов, электрогидродинамической неустойчивостью (домены Капустина-Вильямса) и цветотемпературными характеристиками термоиндикаторов.
- \_\_ дать методические рекомендации для написания рефератов по применению жидких кристаллов. (В качестве самостоятельной работы студентам предлагается написать рефераты по основным областям применения жидких кристаллов).

### **3. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана.

Требования к «входным» знаниям» и уровню начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины включают знание основных понятий и законов физики жидкого и кристаллического состояний вещества в рамках программы первых 3-х курсов, а также знание университетского курса физики и математики.

**4. Объем дисциплины:** 4 зачетных единиц, 144 академических часа, **в том числе контактная работа:** лекции 32 часа, лабораторные работы 48 часов; **самостоятельная работа:** 64 часа.

В учебном плане 2014 г.н. **объем дисциплины:** 4 зачетных единиц, 144 академических часа, **в том числе контактная работа:** лекции 48 часов, лабораторные работы 32 часа; **самостоятельная работа:** 64 часа.

**5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-2	<b>Владеть:</b> навыками работы с русскоязычной и англоязычной научной литературой для знакомства с новейшими достижениями в области жидких кристаллов <b>Знать:</b> основные физические законы и явления, лежащие в основе физики жидких кристаллов
ПК-1	<b>Владеть:</b> знаниями фундаментальных законов, лежащих в основе физики жидких кристаллов <b>Знать:</b> методы и инструменты исследования жидких кристаллов

**6. Форма промежуточной аттестации:** зачет в 7 семестре

**7. Язык преподавания** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Наименование тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные работы	
1. Введение. История и классификация жидких кристаллов	9	2		7
2. Идентификация жидких кристаллов	15	2	6	7
3. Теория континуума. Общее рассмотрение	12	4		8
4. Теория упругости жидких кристаллов	19	4	8	7
5. Фазовые переходы в жидких кристаллах	21	5	9	7
6. Электродинамика.	21	5	9	7
7. Оптические свойства холестериков.	19	4	8	7
8. Природа мезоморфного состояния	19	4	8	7
9. Применение жидких кристаллов (нематиков, холестериков и смектиков) в науке, технике, биологии, медицине.	9	2		7
<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>64</b>

**III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

**1. Текущий контроль успеваемости**

**Темы рефератов и компьютерных презентаций:**

1. Транспаранты на НЖК. Запись голограмм.
2. Буквенные и числовые индикаторы для отображения информации. Часы “Электроника”. Микрокалькулятор. Вольтметр. Телевизионное изображение на экране с НЖК.
3. Использование НЖК в качестве приемников теплового излучения.
4. Измерители тепловых полей на холестериках и смектиках. Выявление дефектов в изделиях. Термометр на ХЖК.

5. Использование ХЖК для измерения температуры. Дистанционная термофотография.
6. Устройства для визуализации ИК - излучения. Устройства для записи голограмм.
7. Визуализаторы на ХЖК.
8. Применение жидких кристаллов в медицине.
9. Применение жидких кристаллов в биологии.

## **2. Промежуточная аттестация**

*Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:*

### **ОПК 2**

1. Исторические сведения о работах Ф.Рейнитцера и О.Лемана. Определение мезоморфного состояния.
2. Традиционная классификация. Основные типы жидких кристаллов. Тепловые свойства ЖК.
3. Характеристика общепринятых методов определения мезофазы. Методы исследования ЖК.
4. Неспецифические и специфические текстуры (типы идентификации мезофаз текстуры). Параморфизм, псевдоизотропизм.
5. Специфические текстуры НЖК. Условия ориентации. Получение твист-текстуры. Поляризационно-оптические текстуры. Наблюдение фронта кристаллизации.
6. Специфические текстуры ХЖК: конфокальная текстура (конфокальные домены). Превращение конфокальной текстуры в плоскую или гранжанову. Особенности ее строения.
7. Специфические текстуры СЖК. Специфическая текстура смектика А. Смектик С, особенности текстуры смектика С, оптическая двуосность. Хиральные смектики С\*.
8. Теория “роев” Бозе. Объяснение некоторых свойств ЖК с помощью этой теории. Слабые места теории роев.
9. Теория континуума Цохера. Циботактические группы. Жидкий кристалл – как непрерывная однородная анизотропная среда. Симметрия корреляционных функций мезофаз. Понятие точечной симметрии ЖК.
10. Теория упругости ЖК. Поле локальных директоров. Сопутствующая система координат. Изгибовые деформации. Тензор II ранга. S-, T- и B-деформации.

### **ПК 1**

1. Свободная энергия деформированного образца. Плотность свободной энергии. Разложение в ряд по степеням деформаций. Постулирование существования некоего аналога закона Гука. Константы упругости Франка.

2. Влияние опорных поверхностей на упорядочение в нематиках. Математическое условие описания задачи. Деформация кручения, искажающая поле директора НЖК. Выражение для упругой энергии НЖК в одноконстантном приближении. Условие минимальности интеграла. Определение экстраполяционной длины “ $b$ ”.
3. Анизотропия диамагнитной восприимчивости ЖК. Тензор II ранга. ЖК во внешнем магнитном поле. Условие устойчивого состояния ЖК во внешнем магнитном поле.
4. Определение магнитной когерентной длины (случай “сильного сцепления”). Уравнение для упругой энергии нематика при наличии внешнего магнитного поля в одноконстантном приближении. Зависимость угла поворота от расстояния от ОП, выраженного в единицах магнитной когерентной длины. Определение электрической когерентной длины.
5. Определение критического поля перехода Фредерикса в плоском капилляре с гомеотропной ориентацией (случай “сильного сцепления”). Вывод соответствующего уравнения.

*Вопросы для проверки владения при освоении дисциплины.*

## **ОПК 2**

1. Механические способы задания ориентации ЖК.
2. Электрооптическая ячейка: устройство, порядок подготовки к исследованию.
3. Термостатируемая ячейка для исследования фазовых переходов в ЖК.
4. Исследуемые ЖК-вещества: НЖК, ХЖК, СЖК, смеси этих веществ.

## **ПК 1**

1. Поляризационный микроскоп: устройство, области применения.
2. Электронное устройство для термостабилизации ячейки.
3. Принцип действия термопары.
4. Построение графиков зависимостей физических величин при помощи современных компьютерных программных пакетов (MS Excel, Maple и т.д.)
5. Математические расчёты в современных компьютерных программных пакетах.
6. Представление отчета по лабораторным работам в электронном виде.

## **3. Рубежный контроль**

В учебном плане не предусмотрен.

**IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-2: Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
	<i>Задания для проверки сформированности владений:</i>			
	Оценить экспериментально температуру перехода $T_{NI}$ «нематик-изотропная фаза»	Грамотно выполняет эксперимент, методически правильно оценивает температуру перехода	Определяет $T_{NI}$ , но допускает методические ошибки	Задание выполнено, но небрежно.
	Сравнить величину $T_{NI}$ со справочными данными, объяснить физический смысл $T_{NI}$	Имеет навыки работы с литературой и Интернет-ресурсами, правильно проводит сравнение, объясняет физический смысл $T_{NI}$	Использует вполне достоверные источники, понимает физический смысл $T_{NI}$	Использует вполне достоверные источники, не до конца понимает физический смысл $T_{NI}$
	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>			
	Описать основные текстуры ЖК и их физический смысл	Перечисляет основные структуры и поясняет их физический смысл, четко формулирует	Перечисляет основные структуры, поясняет их физический смысл, но не может	Перечисляет основные структуры, но с трудом поясняет их физический смысл

		различия между ними	сформулировать различия между ними	
	Сформулировать классификацию ЖК	Формулирует классификацию, поясняет принцип, лежащий в ее основе, приводит примеры ее применения	Формулирует классификацию, поясняет принцип, лежащий в ее основе	Формулирует классификацию без каких-либо пояснений

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1: Способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования.**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	<i>Задания для проверки сформированности владений:</i>			
	Использование методов наблюдения текстур ЖК	Полностью сформированы навыки наблюдения текстур ЖК	Владеет понятием текстуры, знает основные текстуры, но затрудняется в их определении на основании микроскопического исследования	Плохо освоены основные теоретические понятия, связанные с текстурой ЖК, затрудняют ее адекватную идентификацию
	Определение типа термотропного ЖК по его	Безошибочно идентифицирует	Идентифицирует тип	С трудом идентифицирует



	текстуре	ует тип термотропного ЖК по его текстуре	термотропного ЖК по его текстуре, но допускает отдельные ошибки	ует тип термотропного ЖК по его текстуре
	<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Основы статистической теории ЖК	Хорошо знает основы статистической теории, умеет применять их для конкретных оценок	Знает основы статистической теории, но применяет их с трудом	Основы статистической теории освоены не полностью
	Основные теоретические подходы к ЖК и их принципиальные различия.	Знает основные теоретические подходы в физике ЖК, их преимущества и недостатки	Формально знает основные теоретические подходы в физике ЖК, но не может сформулировать их преимущества и недостатки	Основные теоретические подходы в физике ЖК освоены на недостаточно высоком уровне

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

1. Вшивков С. А. Фазовые и структурные переходы жидкокристаллических наносистем [Электронный ресурс]: учеб. пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 112 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4038>.

### б) Дополнительная литература:

1. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику [Электронный ресурс]: учеб. пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/297>.

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Научная библиотека ТвГУ: <http://library.tversu.ru/>
2. Электронная библиотека издательства Лань: <http://e.lanbook.com/>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

*Для оценивания результатов обучения в виде знания предлагается ответить на следующие вопросы:*

1. Какие химические соединения образуют жидкие кристаллы?
2. Почему ЖК иногда называют мезоморфным или промежуточным состоянием?
3. Опишите основные типы жидких кристаллов, дайте представление о модификациях нематической и смектической мезофаз. Зарисуйте расположение молекул для каждой из мезофаз.
4. Запишите схемы температурных переходов, возможные в соединениях, образующих жидкие кристаллы.
5. Что такое текстура ЖК? Каковы особенности текстуры нематиков, смектиков, холестериков?
6. Каковы особенности полимезоморфизма в ЖК различных типов?
7. Каковы особенности фазового перехода нематик-изотропная жидкость в рамках теории Ландау-де-Жена?
8. Чем объясняются различия теплот плавления и теплот фазовых переходов мезофаз?
9. В чем сущность предпереходных явлений при фазовых превращениях?
10. Можно ли определить тип фазового перехода по наблюдаемым картинам полиморфных превращений?
11. Что оказывает влияние на температуру фазовых превращений?
12. Чем объясняют имеющиеся гистерезисные явления?
13. Методы ориентации ЖК, способы проверки ориентации.
14. Домены Капустина-Вильямса.

15. На примере графика пороговой зависимости эк течения от частоты укажите основные особенности двух режимов, неустойчивости.
16. Приведите основные теоретические формулы для описания ЭГД – устойчивости в нематиках.
17. Что такое линейно-поляризованная волна?
18. Методы получения линейно-поляризованного света.
19. Опишите качественно явление двулучепреломления.
20. Чему равна разность хода для обыкновенной и необыкновенной волн и их разность фаз в жидком кристалле.
21. Физическая сущность селективного рассеяния света холестерическими пленками. Соответствующие формулы.
22. Обоснуйте теоретически зависимость длины селективного рассеяния от температуры.

***Для оценивания результатов обучения в виде владения предлагается выполнить следующие задания:***

Лабораторная работа 1. Изучение текстур и фазовых переходов жидких кристаллов

1. Изучить устройство и принцип работы поляризационного микроскопа, термостатируемой ячейки, электронного устройства для термостабилизации.
2. Подготовить предметное и покровное стёкла для работы, предварительно вымыв их соответствующими растворителями – сначала ацетоном, затем спиртом и в конце дистиллированной водой; высушить стёкла, аккуратно держа их пинцетом и обдувая воздухом с помощью резиновой «груши».
3. Подготовить микроскоп и термоячейку к работе, поставив её на предметный столик микроскопа под объектив, вставить стекло в ячейку.
4. С помощью листочка чистой бумаги аккуратно задать направление ориентации ЖК, потеряв стекло в определённом направлении.
5. Стеклойной лопаточкой или скальпелем положить небольшое количество (одну лопаточку) исследуемого жидкого кристалла на стекло с

заданной ориентацией.

6. Придерживая пинцетом второе стекло, накрыть им порошок исследуемого ЖК-вещества.

7. Включить электронное устройство, установить режим изменения температуры в ячейке, повернув переключатель «ИЗМЕНЕНИЕ  $U_{\text{опорн.}}$ » в соответствующее положение.

8. Постепенно нагревая препарат исследуемого вещества, зафиксировать температуру плавления ЖК. Продолжать нагревать, внимательно следя за изменениями структуры ЖК в микроскоп, пока не появится изотропный расплав (исчезают микроструктура, тёмное поле зрения в скрещенных поляроидах). Записать температуру перехода ЖК в изотропную жидкость.

9. Отключив нагрев ячейки, дать возможность остыть ячейке, при этом внимательно наблюдать в микроскоп за появлением текстуры, характерной при переходе из изотропной жидкости в мезоморфное состояние. С помощью термопары зафиксировать эту температуру.

10. Составить схемы фазовых превращений исследуемых веществ.

11. Результаты измерений занести в таблицу.

Лабораторная работа 2. Изучение электроконвективного течения в нематических жидких кристаллах с отрицательной диэлектрической анизотропией

1. Собрать цепь по заданной схеме.

2. Ознакомиться с устройством микроскопа.

4. Установить поляриды микроскопа в параллельное положение.

5. Сфокусировать ЖК-ячейку в поле зрения микроскопа.

6. Выбрать участок с наилучшей ориентацией молекул.

7. Установив напряжение на ноль, включить источник питания постоянного тока и дать ему прогреться в течение двух минут.

8. Включить вольтметр, установить режим измерения на постоянном токе. Установить предел измерения 10 В.

9. Медленно набирая напряжение на источнике питания (через 0,1 В) и наблюдая в микроскоп, определить напряжение, при котором появляются домены. Произвести не менее пяти измерений.

Лабораторная работа 3. Селективное отражение света холестерическими пленками

1. Ознакомиться с устройством термостата и исследовательской ячейки.
2. Подготовить ячейку с исследуемым ЖК.
3. Образец путем нагрева перевести в изотропное состояние, а температуру ячейки довести до температуры изотропного расплава.
4. Изменять температуру на контактном термометре до заданных в описании вещества температур, выдерживая каждую до 10 минут.
5. Фиксировать температуры, при которых образец изменяет окраску.
6. Построить график зависимости длины волны рассеиваемого света от температуры.

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Базовая учебная лаборатория общей физики, лаборатория схемотехники, лаборатория физики жидких кристаллов № 215 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Монитор 15" TFT Proview 2 Монитор 15" TFT Proview 3 Монитор 15" TFT Proview 4 Компьютер:(процессор-	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от

	i5-2400+ монитор LG Flatron 5 Монитор Dell 1300488-00 6 Системный блок Intel Original LGA775/Asus/DDR2 1024Mb/Segate SATA-11 80Gb/вентилятор ISoc-775 7 Генератор National Instruments 1300488-00 8 Измерительная станция PXI на базе оборудования National Instruments 1300488-00 9 Контролер National Instruments 1300488-00 10 Многофункциональная плата National Instruments 1300488-00 11 Мультиметр National Instruments 1300488-00 12 Осциллограф National Instruments 1300488-00 13 Программный источник питания National Instruments 1300488-00 14 Огнетушитель ОП-4(3) 15 Шкаф закрытый 900x320x2000мм 16 Шкаф закрытый 900x320x2000мм 17 Шкаф для одежды узкий 500x520x2000мм 18 Шкаф полуоткрытый 900x320x2000мм	21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
--	--	---

**Помещения для самостоятельной работы:**

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа,	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2)	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 -

<p>занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь  3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D  4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО  5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО  6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»  7. Комплект учебной мебели</p>	<p>ГК/09 от 15.06.2009  Google Chrome - бесплатно  Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно  Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.  Lazarus 1.4.0 - бесплатно  Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно  Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011  MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012  Microsoft Express Studio 4 - бесплатно  MiKTeX 2.9 - бесплатно  MPICH 64-bit – бесплатно  MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно  Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017  MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
---	--	--

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г