

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ С  
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
[2] 22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов  
[3] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./защ./КР/КП
7	4	144	16	32	0	60	0	Э
Итого	4	144	16	32	0	60	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Одним из основных законов геометрической оптики является простой закон преломления света при переходе из одной среды в другую – закон Снелиуса. Свет в среде с другим показателем преломления продолжает движение в том же направлении, но его угол немного меняется в зависимости от показателя преломления среды. Однако в середине XX века появился ряд интересных работ, в которых теоретически были рассмотрены особые вещества со специфическими свойствами, одним из которых было особое поведение света на границе раздела двух сред. Такие вещества были впоследствии названы метаматериалами (или “левыми” материалами).

Метаматериалами называют те материалы, свойства которых обусловлены скорее их геометрической структурой, нежели веществом, из которого они изготовлены. Это искусственно изготовленные среды, например, электрические или акустические свойства которых труднодостижимы технологически или вообще не встречающиеся в природе. То есть у метаматериалов необычные значения физических параметров среды, например, отрицательные по величине значения как диэлектрической  $\epsilon$ , так и магнитной  $\mu$  проницаемостей. Вещества с отрицательным коэффициентом преломления будут иметь совершенно другие оптические свойства.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью дисциплины является изучение физических принципов и свойств материалов с отрицательным показателем преломления.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

В данном курсе используются основные понятия, концепции, представляющие собой теоретическую базу, освоенную студентами при изучении дисциплин по специализации кафедры в том числе оптики, лазерной физики, магнитооптики и физики твердого тела. Например, в случае отрицательного показателя преломления происходит обращение фазовой скорости электромагнитного излучения; сдвиг происходит в противоположную сторону; преломленный метоматериалом свет распространяется в направлении, противоположном направлению падения луча.

Потенциальные способы применения метаматериалов охватывают все области, в которых используется электромагнитное излучение – от космических систем до медицины.

Изучение дисциплины позволит студентам познакомиться с новыми представлениями в оптике, с методами создания метаматериалов, с использованием различных магнитооптических явлений при решении практических задач в промышленности и в оборонном комплексе..

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1, 2, 3] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	3-УК-1 [1, 2, 3] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1, 2, 3] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1, 2, 3] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
УК-3 [1, 2, 3] – Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	3-УК-3 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы и нормы социального взаимодействия; основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии У-УК-3 [1, 2, 3] – Уметь: устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды В-УК-3 [1, 2, 3] – Владеть: простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
УК-6 [1, 2, 3] – Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	3-УК-6 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы эффективного управления собственным временем; основные методики самоконтроля, саморазвития и самообразования на протяжении всей жизни У-УК-6 [1, 2, 3] – Уметь: эффективно планировать и контролировать собственное время; использовать методы саморегуляции, саморазвития и самообучения В-УК-6 [1, 2, 3] – Владеть: методами управления собственным временем; технологиями приобретения, использования и обновления социо-культурных и профессиональных знаний, умений, и навыков; методиками саморазвития и самообразования в течение всей жизни

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование этического мышления и профессиональной	1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной

<p>Духовно-нравственное воспитание</p>	<p>ответственности ученого (B2) Создание условий, обеспечивающих, формирование личностно-центрированного подхода в профессиональной коммуникации, когнитивно-поведенческих и практико-ориентированных навыков, основанных на общероссийских традиционных ценностях (B3)</p>	<p>направленности. 1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной направленности.</p>
<p>Профессиональное и трудовое воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (B14)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономика и управление в промышленности на основе инновационных подходов к управлению конкурентоспособностью», «Юридические основы профессиональной деятельности» для: - формирования навыков системного</p>

		<p>видения роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за</p>

		<p>принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3,

							3-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, 3-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, 3-УК-6, У-УК-6, В-УК-6

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам

Э	Экзамен
---	---------

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	16	0
1 - 2	<b>Тема 1</b> История вопроса. Теоретическое обоснование свойств “левой”: материи	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
0	0	0		
3 - 4	<b>Тема 2</b> Метаматериалы с отрицательным показателем преломления. Свойства материалов с отрицательным показателем преломления.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
0	0	0		
5 - 6	<b>Тема 3</b> Суперлинзы. Материалы с эффектом невидимости	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
0	0	0		
7 - 8	<b>Тема 4</b> Метаматериалы и голография. Линзы из метаматериалов догнали современную оптику	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
0	0	0		
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	8	16	0
9 - 12	<b>Тема 5</b> “Могоцилиндровый” метаматериал. Метаматериалы в лазерных системах	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
0	0	0		
13 - 16	<b>Тема 6</b> Использование метаматериалов в военном деле 12 неделя Трудности создания абсолютно невидимых покрытий в оптическом диапазоне	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
0	0	0		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозна чение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

По направлению подготовки (специальности) предусматривается использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных, презентации, разбор конкретных задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. Часть занятий проводится в интерактивной форме.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
УК-6	З-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу
75-84		C	
70-74		D	

			излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 87 Классическая электродинамика : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ С 78 Основы оптики : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Б 23 Электромагнитные кристаллы. : , Москва: Физматлит, 2010
4. 537 А 91 Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоники и метаматериалы : , Долгопрудный: Интеллект, 2012
5. ЭИ П83 Основы магнитооптики : учебное пособие, Е. А. Протасов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

1. Содержание данной программы представляет собой развитие полученных ранее знаний в области оптики и лазерной физики. В курсе используются основные понятия, концепции, представляющие собой практическую и теоретическую базу, необходимую для практической деятельности бакалавра. Изучение дисциплины позволит студентам получить новые знания о современных направлениях в физике, конкретных достижениях и проблемах.

2. Необходимо усвоить информацию о физических принципах работы устройств на основе систем, использующих эффект отрицательного коэффициента преломления.

3. В своих работах Веселаго показал, что  $\epsilon$  и  $\mu$  могут быть отрицательными, если электроны будут двигаться противоположно силам, создаваемыми электрическим и магнитным полями. Каким образом это можно показать на примере математического маятника?

4. Рассмотрите задачу распространения света в среде с отрицательным показателем преломления. Как будет распространяться свет?

5. В каких существующих устройствах реализуется факт противоположности фазовой скорости и направление потока энергии?

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Любопытно, история с материалами-невидимками напрямую связана с советскими учеными. В 2004 году президиум Российской академии наук присудил доктору физико-математических наук Виктору Веселаго специальную премию им. В. А. Фока за цикл работ «Основы электродинамики сред с отрицательным коэффициентом преломления».

Тем самым высшая научная инстанция России наконец официально признала его важнейшую роль в создании теоретического базиса нового направления физических исследований, в последние годы стремительно набирающего обороты во всем мире.

В этом цикле, начатом еще в середине 60-х годов прошлого века, В. Веселаго одним из первых заинтересовался необычными электродинамическими свойствами гипотетических сред, характеризующихся одновременно отрицательными значениями электрической и магнитной проницаемостей, которые и определяют коэффициент преломления. (Справедливости ради, впрочем, следует отметить, что задолго до Веселаго, еще в конце 30-х, на необычные оптические свойства таких сред впервые обратил внимание в ряде своих работ крупнейший советский физик Л.И. Мандельштам, а также Сивухин и Пафомов

(Оптика и спектроскопия, т.3, с.308,1957) а в статье Веселаго просто отсутствовали ссылки на ранее проведенные исследования).

Подобные свойства могли быть полностью объяснены и описаны только в том случае, если такие вещества обладают отрицательным значением коэффициента преломления.

Веселаго предсказал, что в материалах с отрицательным коэффициентом преломления

определенные оптические явления будут совершенно другими. И самое поразительное из них рефракция — отклонение электромагнитной волны при прохождении границы раздела двух сред.

В нормальных условиях волна появляется на противоположной стороне линии, проходящей перпендикулярно этой границе (так называемой нормали к поверхности). Однако если один материал имеет положительный коэффициент преломления, а другой отрицательный, волна будет появляться на той же стороне нормали к поверхности.

В своих работах советский теоретик утверждал, что электродинамика веществ с отрицательным значением  $n$  должна представлять несомненный общезначимый интерес и вполне логично дополнять куда более привычную нам электродинамику веществ с положительными величинами.

1. Необходимо донести до студентов, что конструкции устройств на основе метоматериалов представляют собой технологически весьма сложную систему, состоящую часто из массива микроскопических медных проволочек и колечек, помещенных в основу из стекловолокна. При этом, колечки имеют отрицательную магнитную проницаемость, а проволочки — отрицательную электрическую проницаемость, и благодаря этой хитрой комбинации электрических и магнитных резонаторов экспериментаторам удалось добиться столь необычного эффекта — отрицательного показателя преломления  $n$ .

2. “Левые материалы” сравнительно новая область науки и техники, которая, в настоящее время занимает значительное место в новейших разработках в виде конкретных устройств. Идей, в которых предлагаются различные приборы и устройства на основе этих материалов, огромное количество. Однако в плане реализации в видимой и ИК-областях спектра возникают большие трудности. В основном это связано с необходимостью иметь дело с деталями создаваемых устройств, имеющих размеры меньше длины волны излучения.

Автор(ы):

Протасов Евгений Александрович, д.ф.-м.н.,  
профессор