

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Оптика океана
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: О.В. Копелевич, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры термогидромеханики океана 01.06.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы оптики океана как части базового цикла обучения студентов кафедры термодинамики океана МФТИ. Вводятся основные фотометрические величины, используемые в оптике океана, и параметры, характеризующие оптические свойства морской воды. Формулируются главные особенности распространения светового излучения в водной толще как светорассеивающей среде, основные направления и методы исследований. Представляются основные законы распространения светового излучения и уравнения для количественных расчетов. Рассматривается природное разнообразие оптических свойств, особенности их глобального распределения и пространственно-временной изменчивости различных масштабов. Рассматривается формирование световых полей, создаваемых солнечным излучением и искусственными источниками, в зависимости от различных факторов, в том числе фотосинтетически активной радиации (ФАР) и ее роли в создании первичной биопродукции океана.

Рассматриваются различные прикладные аспекты оптики океана, включая проблемы подводной видимости, применения лидаров и использования данных спутниковых сканеров цвета.

Курс содержит обсуждение базовых физических вопросов, разбор прикладных проблем и анализ данных измерений.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по оптике океана для использования в областях и дисциплинах океанологии и дистанционных методов исследования и мониторинга морей и океанов, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области оптики океана;
- научить студентов на примерах и задачах использовать данные контактных и дистанционных оптических измерений, самостоятельно анализировать полученные результаты.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной оптики океана;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов оптики океана;
- современные проблемы оптики океана.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать достоверные значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в оптику океана. Основные направления исследований. Термины и определения	4			3
2	Факторы, формирующие оптические свойства морской воды.	8			3
3	Природное разнообразие оптических свойств морской воды. Основные закономерности их пространственной и временной изменчивости.	8			2
4	Уравнение переноса излучения	4			2
5	Распространение солнечного излучения в атмосфере	4			2
6	Распространение солнечного излучения в водной среде	2			3
7	Световое поле от искусственных источников излучения	4	4		5
8	Океанографические лидары	4	4		4
9	Видимость под водой и через поверхность моря	4	4		5
10	Истинный и видимый цвет океана	4	4		4
11	Обратные задачи теории рассеяния	4	4		5
12	Факторы, формирующие яркость восходящего излучения на верхней границе атмосферы	4	4		4
13	Атмосферная коррекция данных спутниковых сканеров цвета	2	2		5
14	Биооптические алгоритмы	2	2		4

15	Спутниковые сканеры цвета	1	1		5
16	Использование данных спутниковых наблюдений цвета	1	1		4
Итого часов		60	30		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Введение в оптику океана. Основные направления исследований. Термины и определения

Три основных направления исследований оптики океана. История возникновения и развития. Основные процессы, определяющие распространение светового излучения в морской среде; специфика морской среды. Основные фотометрические величины. Характеристики оптических свойств морской воды. Закон Бугера. Характеристики подводного светового поля. Спектральные характеристики восходящего потока излучения. Световые величины. Учет поляризации.

##### 2. Факторы, формирующие оптические свойства морской воды.

Оптические свойства чистой воды и чистой морской воды. Спектральное поглощение окрашенным органическим веществом «желтым веществом»). Рассеяние света взвешенными частицами. Модель рассеяния света морской водой. Поглощение света пигментами фитопланктона. Поглощение морской водой. Флуоресценция морской воды.

##### 3. Природное разнообразие оптических свойств морской воды. Основные закономерности их пространственной и временной изменчивости.

Глобальное распределение оптических свойств. Климатическая и циркумконтинентальная изменчивость. Вертикальная зональность. Сезонная и мезомасштабная изменчивость. Диапазоны изменения оптических характеристик. Связь между оптическими свойствами поверхностных и глубинных вод. Тонкая вертикальная структура. Синоптическая изменчивость. Влияние речного стока и оптические свойства вод в прибрежных апвеллингах. Влияние внутренних волн.

##### 4. Уравнение переноса излучения

Физический смысл уравнения переноса излучения (УПИ) для рассеивающей среды. Нестационарное УПИ. Строгие методы решения УПИ. Плоско-параллельная среда. Двухпотокное приближение. Глубинный режим. Теорема взаимности. Функция Грина. Квазиднократное и малоугловое приближения решения УПИ.

##### 5. Распространение солнечного излучения в атмосфере

Структура и состав земной атмосферы. Атмосферный аэрозоль. Вертикальные профили различных характеристик. Солнечное излучение на верхней границе атмосферы и на поверхности моря. Распределение яркости и поляризации дневного неба при безоблачной и облачной атмосфере.

##### 6. Распространение солнечного излучения в водной среде

Угловое распределение подводной яркости и его изменение с глубиной.

Спектральное распределение подводной облученности на разных глубинах. Малопараметрическая модель показателя вертикального ослабления облученности. Поглощение солнечной энергии в водной толще. Фотосинтетически активная радиация. Свет и первичная продукция. Эффекты, связанные с неупругим рассеянием. Поляризация солнечного излучения под водой. Флуктуации подводной облученности.

## Семестр: 8 (Весенний)

### 7. Световое поле от искусственных источников излучения

Стационарные источники излучения. Характеристики узкого светового пучка. Импульсные лазеры. Условия стационарности. Узкий и широкий пучки.

### 8. Океанографические лидары

Типы лидаров и их физические основы. Применения лидаров (характеристики поверхностного волнения, нефтяные пленки, дистанционные определения биооптических характеристик морской воды и их вертикальных профилей, лазерная батиметрия).

### 9. Видимость под водой и через поверхность моря

Специфика видения под водой. Характеристики качества изображения. Перенос изображения в рассеивающей среде. Системы подводного видения. Видимость белого диска. Видение подводных объектов через взволнованную поверхность и методы улучшения качества изображения.

### 10. Истинный и видимый цвет океана

Восприятие цвета человеческим глазом. Системы цветности. Цветность излучения, выходящего из водной толщи. Различия цвета для разных вод. Спутниковые изображения в видимом цвете.

### 11. Обратные задачи теории рассеяния

Использование оптических методов в океанологических исследованиях. Прямая и обратная задачи теории рассеяния. Трудности решения обратных задач. Методы определения количественного и качественного состава морской взвеси.

### 12. Факторы, формирующие яркость восходящего излучения на верхней границе атмосферы

Составляющие яркости восходящего излучения на верхней границе атмосферы. Рэлеевское и аэрозольное рассеяние. Система AERONET. Оптическая модель атмосферного аэрозоля. Отражение от взволнованной морской поверхности. Направленное и диффузное пропускание атмосферы. Вклады разных составляющих в суммарную яркость восходящего излучения, измеряемую спутниковым датчиком.

### 13. Атмосферная коррекция данных спутниковых сканеров цвета

Главные этапы обработки спутниковых данных. Задача атмосферной коррекции. Схема атмосферной коррекции НАСА. Требования к спектральным каналам спутникового сканера цвета. Региональные алгоритмы атмосферной коррекции. Учет вклада солнечных бликов и отражения пенной.

### 14. Биооптические алгоритмы

Связь между спектральными коэффициентами яркости моря и водной толщи. Толщина водного слоя, в котором формируется яркость восходящего излучения. Полуаналитический и регрессионный биооптические алгоритмы. Валидация алгоритмов по данным натурных измерений. Региональные алгоритмы. Учет неупругого рассеяния. Коррекция на отражение от дна на мелководье.

#### 15. Спутниковые сканеры цвета

Физические основы спутниковых наблюдений цвета океана. Необходимые условия получения качественных геофизических продуктов. Организация получения, обработки и верификации данных. Основные параметры и характеристики различных спутниковых сканеров цвета. Зарубежные и российские спутниковые сканеры цвета, действующие и планируемые на период до 2025 г.

#### 16. Использование данных спутниковых наблюдений цвета

Преимущества и недостатки спутниковых наблюдений цвета океана. Биооптические параметры, определяемые по данным спутниковых сканеров цвета. Примеры результатов использования спутниковых данных в различных морях.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Оптика океана [Текст]. В 2 т. Т. 1. Физическая оптика океана/Акад. наук СССР, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова, -М., Наука, 1983
2. Оптика океана [Текст]. В 2 т. Т. 2. Прикладная оптика океана/Акад. наук СССР, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова, -М., Наука, 1983
1. Копелевич О.В. Оптические свойства вод океанов и морей // Монография: Мировой океан. Т.2. Физика, химия и биология океана.

#### Дополнительная литература

1. Введение в оптику океана [Текст]/К. С. Шифрин, -Л., Гидрометеиздат, 1983
2. Оптика моря [Текст]/Н. Г. Ерлов, -Л., Гидрометеиздат, 1980
3. Перенос изображения в рассеивающей среде [Текст]/Э. П. Зеге, А. П. Иванов, И. Л. Кацев, -Мн., Наука и техника, 1985
4. Введение в физическую океанографию [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. Н. Кошляков, Р. Ю. Тараканов ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 142 с.
1. Л.С.Долин, И.М.Левин «Справочник по теории подводного видения». Л. Гидрометеиздат, 1991.

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. Сайт сети публикации геоданных и данных по окружающей среде: <http://www.Pangaea.de> ;
3. Сайт ЕСИМО; <http://www.data.oceaninfo.ru> .
4. Коллекции исходных данных для Ocean Data View: атлас Мирового океана изд. Левитуса 2004г, коллекция исторических данных Rayd-Mantyla, доступны на сайте Полярного университета им. А.Вегенера <http://odv.awi.de>

5. Сайт научной океанографической литературы <http://www.oceanographers.ru>

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

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Оптика океана» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа устных ответов студентов в течение учебного года.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** О.В. Копелевич, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Оптика океана» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной оптики океана;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов оптики океана;
- современные проблемы оптики океана.

### уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать достоверные значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме устного опроса.

Примерный перечень вопросов для опроса:

1. Основные фотометрические величины. Связь между энергетическими и световыми величинами.
2. Оптические характеристики морской воды. Их физический смысл. Закон Бугера.
3. Уравнение переноса излучения. Его физический смысл.

4. Приближенные методы решения уравнения переноса излучения. Их физическое обоснование.
5. Свет и первичная продукция.
6. Закономерности распространения в водной среде узких световых пучков.
7. Глубинный режим. Условия, при которых он может осуществляться.
8. Цвет моря и его количественные характеристики.
9. Факторы, формирующие яркость восходящего светового излучения на верхней границе атмосферы.
10. Океанографические лидары.
11. Основные факторы, определяющие распространение светового излучения в земной атмосфере.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

##### Билет 1

- Основные фотометрические величины. Связь между энергетическими и световыми величинами.
- Свет и первичная продукция.

##### Билет 2

- Оптические характеристики морской воды. Их физический смысл. Закон Бугера.
- Закономерности распространения в водной среде узких световых пучков.

##### Билет 3

- Факторы, определяющие оптические свойства морской воды. Оптические свойства составляющих морскую воду компонентов.
- Условие стационарности светового поля. Основные закономерности распространения в водной среде коротких лазерных импульсов.

##### Билет 4

- Малопараметрические модели поглощения и рассеяния света морской водой.
- Особенности подводного видения. Характеристики качества изображения. Функция размытия точки и частотно-контрастная характеристика.

##### Билет 5

- Глобальная изменчивость оптических свойств морской воды; климатическая и циркумконтинентальная зональность. Сезонная изменчивость.
- Факторы, определяющие глубину видимости белого диска. Влияние волнения на видимость подводного объекта.

##### Билет 6

- Изменение оптических характеристик морской воды с глубиной. Тонкая вертикальная структура оптических характеристик.
- Обратные задачи теории рассеяния и трудности, возникающие при их решении.

##### Билет 7

- Синоптическая и мезомасштабная изменчивость оптических характеристик. Обуславливающие факторы.
- Океанографические лидары. Физические основы различных типов лидаров. Их применение в океанологических исследованиях.

##### Билет 8

- Уравнение переноса излучения. Его физический смысл.
- «Истинный цвет» океана. Характеристики светового излучения, выходящего из водной толщи, над и под поверхностью моря.

#### Билет 9

- Глубинный режим. Условия, при которых он может осуществляться.
- Цвет моря и его количественные характеристики.

#### Билет10

- Приближенные методы решения уравнения переноса излучения. Их физическое обоснование.
- Факторы, формирующие яркость восходящего светового излучения на верхней границе атмосферы. Их относительный вклад в разных спектральных интервалах при различных условиях.

#### Билет11

- Теорема оптической взаимности. Функция Грина.
- Задача атмосферной коррекции спутниковых данных. Возможные подходы к ее решению.

#### Билет12

- Основные факторы, определяющие распространение светового излучения в земной атмосфере. Их оптические свойства.
- Использование спутниковых данных о цвете вод для исследования и мониторинга морей и океанов.

#### Билет13

- Солнечное излучение на верхней границе атмосферы и на уровне моря.
- Биооптические алгоритмы. Их физическое обоснование и проблемы применения.

#### Билет14

- Закономерности распространения светового излучения в водной толще. Три зоны вертикальной структуры подводного светового поля.
- Спутниковые сканеры цвета океана; организация их работы и использования получаемых данных.

#### Билет15

- Изменение с глубиной спектрального состава солнечного излучения. Показатель вертикального ослабления подводной облученности и факторы, его обуславливающие.
- Факторы, формирующие яркость восходящего светового излучения на верхней границе атмосферы. Их относительный вклад в разных спектральных интервалах при различных условиях.

#### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Оценка за промежуточную аттестацию в виде зачёта выставляется по результатам текущего контроля успеваемости.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций, семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.