

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

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

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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.В. Жмур, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры термогидромеханики океана 07.06.2021

Аннотация

В курсе студенты ознакомятся с фундаментальными понятиями, законами, основными приближениями теории термогидромеханики стратифицированного по плотности океана на вращающейся Земле. В курсе подробно рассматриваются все типы волновых движений океана: поверхностные и внутренние волны, захваченные экваториальные волны, волны Россби, теория приливов. Представлены линейные и нелинейные подходы в теории волн. Особое внимание в курсе уделяется описанию мезомасштабных вихревых образований океана и построению аналитической теории деформации вихревых ядер таких структур, описание их выживания в неоднородных течениях, а также уделено особое внимание закону сохранения потенциального вихря Этреля и его различным приближениям. Рассматриваются баротропная и бароклинная неустойчивости зональных потоков, а также теории придонного и приповерхностного пограничных слоев Экмана.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по прикладной гидродинамике в приложении к задачам геофизики, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области геофизической гидродинамики;
- научить студентов на примерах и задачах оценивать механизмы формирования и развития отдельных физических явлений в геофизике, создавать их гидродинамические модели, 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 геофизической гидродинамики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физической океанографии;
- современные проблемы гидрофизической гидродинамики в приложении к задачам океанологии.

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 наилучшие 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	2	1		5
2	Кинематика волн	4	2		7
3	Поверхностные гравитационные волны	4	2		7
4	Волновое поле скоростей поверхностных гравитационных волн и энергия волн	2	1		5
5	Задача Коши (распространения волн цунами)	6	3		7
6	Внутренние волны	6	2		7
7	Волны во вращающемся океане	6	4		7
8	Крупномасштабные гидростатические движения жидкости (длинные волны)	6	3		9
9	Волны на мелкой воде с учетом вращения	4	2		9
10	Уравнение Лапласа (волны в сферическом слое жидкости)	4	2		8
11	Экваториальные захваченные волны	4	2		8
12	Теория волн конечной амплитуды	4	2		8
13	Синоптические и мезомасштабные вихри океана	6	3		9
14	Баротропная и бароклинная неустойчивости зональных потоков	2	1		9
Итого часов		60	30		105
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	225 час., 5 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Введение

Геофизическая гидродинамика как раздел гидродинамики, учитывающей особенности движения морских вод на вращающейся Земле. Частота Вайсяля-Брента. Основные приближения геофизической гидродинамики. Приближение Буссинеска. Приближение f-плоскости и бета-плоскости.

2. Кинематика волн

Понятие волн. Краткий обзор типов волн в океане: бароклинные и баротропные волны, классификация волн по типу возвращающей силы. Длина волны, волновой вектор, фазовая и групповая скорости. Эволюция волнового пакета. Дисперсионное соотношение.

3. Поверхностные гравитационные волны

Потенциальные волновые движения идеальной жидкости. Граничные условия на дне и свободной поверхности. Решение для свободных плоских гармонических поверхностных гравитационных волн (линейное граничное условие на свободной поверхности).

4. Волновое поле скоростей поверхностных гравитационных волн и энергия волн

Поле скоростей и траектории частиц при волновом движении. Энергия волн. Групповая скорость и перенос энергии волн.

5. Задача Коши (распространения волн цунами)

Метод стационарной фазы, асимптотическое приближение волнового решения. Решение в окрестности фронта, функция Эри.

6. Внутренние волны

Уравнения движения для стратифицированной жидкости, приближение Буссинеска. Частота Вайсяля-Брента. Кинематика внутренних волн, фазовая и групповая скорости. Энергия и поток энергии внутренних волн. ВКБ приближение для внутренних волн. Нормальные моды.

7. Волны во вращающемся океане

Инерционные волны. Нормальные моды в случае вращающейся жидкости.

Семестр: 8 (Весенний)

8. Крупномасштабные гидростатические движения жидкости (длинные волны)

Гидростатическое приближение. Закон сохранения потенциального вихря. Геоострофическое приспособление потока жидкости.

9. Волны на мелкой воде с учетом вращения

Волны в канале: Пуанкаре и Кельвина. Дисперсионные соотношения. Пограничные (захваченные) волны. Типы захваченных волн. Захваченные волны у берега: краевые, шельфовые волны. Квазигеострофическое приближение. Волны над уступом – двойные волны Кельвина.

10. Уравнение Лапласа (волны в сферическом слое жидкости)

Волновые уравнения в сферическом слое жидкости. Приливные уравнения.

11. Экваториальные захваченные волны

Экваториальная f -плоскость. Волны Россби, смешанная волна Россби-гравитационная волна (Янаи), инерционно-гравитационные волны Пуанкаре, волна Кельвина.

12. Теория волн конечной амплитуды

Волны Стокса, предельная волна Стокса, волновое течение, волны конечной амплитуды на мелкой воде, уравнение Кортевега де Фриза, кноидальные волны, уединенная волна (солитон).

13. Синоптические и мезомасштабные вихри океана

Особенности синоптических и мезомасштабных вихрей океана и их строение. Ядро вихря. Основные характеристики и свойства вихрей. Обезразмеривание уравнений геофизической гидродинамики для изучения синоптических и мезомасштабных явлений океана. Малые параметры задачи: число Россби, геометрический параметр. Разложение системы уравнений по малому параметру. Геострофический баланс сил. Роль гидростатического приближения в механике вихрей. Первые два приближения по малым параметрам. Незамкнутость системы в низшем приближении. Роль следующего приближения.

Закон сохранения потенциальной завихренности для жидкой частицы (лагранжев инвариант) – как закон динамики вихрей. Выражение всех физических характеристик вихрей через давление.

Кинематическое и динамическое граничные условия на границе вихревого ядра. Математическая формулировка задачи о поведении равнозавихренной вихревой области в неоднородном равнозавихренном потоке. Сведение задачи к теории гравитационного потенциала.

Эллипсоидальное вихревое ядро. Эволюция параметров ядра в неоднородном потоке. Условия недеформируемости ядра. Режимы поведения ядра. Поле скорости внутри и вне ядра вихря. Взаимодействие вихрей. Тенденция к сближению и слиянию одноименных вихрей. Задачи, которые можно эффективно решать предложенным методом.

Двумерные дипольные вихревые структуры. Вихрь Стокса на f -плоскости. Вихрь Ларичева-Резника на бета-плоскости. Трехслойный вихрь Берестова. Трипольный вихрь в сдвиговом потоке. Трехмерные дипольные вихревые структуры.

14. Баротропная и бароклинная неустойчивости зональных потоков

Баротропная и бароклинная неустойчивости зональных потоков. Задача Идди.

Волны Россби. Роль бета-эффекта. Модовое приближение. Баротропная и бароклинные моды. Вертикальная структура волн. Дисперсионное соотношение.

Придонный и приповерхностный пограничные слои Экмана. Сохранение потенциального вихря. Теорема Эртеля.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, персональные компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Волны в океане [Текст] : в 2 ч. Ч. 2/П. Ле Блон, Л. Майсек , -М., Мир, 1981
2. Геофизическая гидродинамика [Текст]: в 2 т.Т.1=Geophysical fluid dynamics/Д. Педлоски, -М., Мир, 1984
3. Линейные и нелинейные волны [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Уизем ; пер. с англ. В. В. Жаринова ; под ред. А. Б. Шабата .— М. : Мир, 1977 .— 622 с.
3. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В.: 1985, Волны в пограничных областях океана, Л.:Гидрометеиздат, 280 с.
4. Рабинович А.Б.: 1993, Длинные волны в океане: захват, резонанс, излучение. С-Петербург: Гидрометеиздат, 325 с.
6. Жмур В.В. Мезомасштабные вихри океана. 2011. М., Геос, 289 с.

Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006 .— 736 с.

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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, программные комплексы (учебные версии) Flow Vision, Solid Works.

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

Успешное освоение курса «Геофизическая гидродинамика» 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 лекций, семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет
8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.В. Жмур, д-р физ.-мат. наук, профессор

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 «Геофизическая гидродинамика» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории геофизической гидродинамики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физической океанографии;
- современные проблемы гидрофизической гидродинамики в приложении к задачам океанологии.

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 наилучшие 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 представляет собой проверку самостоятельной работы.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, индивидуальных консультаций.

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

1. Основные приближения Геофизической гидродинамики. Приближение Буссинеска. Приближение f-плоскости и бета-плоскости.
2. Особенности синоптических и мезомасштабных вихрей океана и их строение. Ядро вихря. Основные характеристики и свойства вихрей.
3. Обезразмеривание уравнений геофизической гидродинамики для изучения синоптических и мезомасштабных явлений океана. Малые параметры задачи: число Россби, геометрический параметр. Разложение системы уравнений по малому параметру. Геострофический баланс сил. Роль гидростатического приближения в механике вихрей.
4. Первые два приближения уравнений геофизической гидродинамики по малым параметрам. Незамкнутость системы в низшем приближении. Роль следующего приближения
5. Закон сохранения потенциальной завихренности для жидкой частицы (лагранжев инвариант) – как основной закон динамики вихрей. Выражение всех физических характеристик вихрей через давление.
6. Кинематическое и динамическое граничные условия на границе вихревого ядра.
7. Математическая формулировка задачи о поведении равнозавихренной вихревой области в неоднородном равнозавихренном потоке. Сведение задачи к теории гравитационного потенциала.
8. Эллипсоидальное вихревое ядро. Эволюция параметров ядра в неоднородном потоке. Условия недеформируемости ядра. Режимы поведения ядра. Поле скорости внутри и вне ядра вихря.
9. Взаимодействие вихрей. Тенденция к сближению и слиянию одноименных вихрей.
10. Двумерные дипольные вихревые структуры. Вихрь Стокса на f-плоскости. Вихрь Ларичева-Резника на бета-плоскости. Трехслойный вихрь Берестова. Трипольный вихрь в сдвиговом потоке.
11. Трехмерные дипольные вихревые структуры.
12. Баротропная и бароклинная неустойчивости зональных потоков. Задача Идди.
13. Волны Россби. Роль бета-эффекта.
14. Модовое приближение. Баротропная и бароклинные моды. Вертикальная структура волн. Дисперсионное соотношение.
15. Дипольные вихревые структуры в непрерывно стратифицированном океане с постоянной частотой Вайселя-Брента.
16. Кинематика волн. Понятие волн. Краткий обзор типов волн в океане: бароклинные и баротропные волны, классификация волн по типу возвращающей силы. Длина волны, волновой вектор, фазовая и групповая скорости. Эволюция волнового пакета. Дисперсионное соотношение.
17. Поверхностные гравитационные волны. Потенциальные волновые движения идеальной жидкости. Граничные условия на дне и свободной поверхности. Решение для свободных плоских гармонических поверхностных гравитационных волн (линейное граничное условие на свободной поверхности).
18. Волновое поле скоростей поверхностных гравитационных волн и энергия волн. Поле скоростей и траектории частиц при волновом движении. Энергия волн. Групповая скорость и перенос энергии волн.
19. Задача Коши (распространения волн цунами). Метод стационарной фазы, асимптотическое приближение волнового решения. Решение в окрестности фронта, функция Эри.
20. Внутренние волны. Уравнения движения для стратифицированной жидкости, приближение Буссинеска. Частота Вайселя-Брента. Кинематика внутренних волн, фазовая и групповая скорости. Энергия и поток энергии внутренних волн. ВКБ приближение для внутренних волн. Нормальные моды.
21. Волны во вращающемся океане. Инерционные волны. Нормальные моды в случае вращающейся жидкости.
22. Крупномасштабные гидростатические движения жидкости (длинные волны). Гидростатическое приближение. Закон сохранения потенциального вихря. Геострофическое приспособление потока жидкости.
23. Волны на мелкой воде с учетом вращения. Волны в канале: Пуанкаре и Кельвина. Дисперсионные соотношения. Пограничные (захваченные) волны. Типы захваченных волн. Захваченные волны у берега: краевые, шельфовые волны. Квазигеострофическое приближение. Волны над уступом – двойные волны Кельвина.
24. Уравнение Лапласа (волны в сферическом слое жидкости). Волновые уравнения в сферическом слое жидкости. Приливные уравнения.

25. Экваториальные захваченные волны. Экваториальная \square -плоскость. Волны Россби, смешанная волна Россби-гравитационная волна (Янаи), инерционно-гравитационные волны Пуанкаре, волна Кельвина.

26. Теория волн конечной амплитуды. Волны Стокса, предельная волна Стокса, волновое течение, волны конечной амплитуды на мелкой воде, уравнение Кортевега де Фриза, кноидальные волны, уединенная волна (солитон).

Примеры экзаменационных билетов:

Билет - 1

1. Основные приближения Геофизической гидродинамики. Приближение Буссинеска. Приближение f-плоскости и бета-плоскости.

2. Волны во вращающемся океане. Инерционные волны. Нормальные моды в случае вращающейся жидкости.

Билет - 2

1. Внутренние волны. Уравнения движения для стратифицированной жидкости, приближение Буссинеска. Частота Вайсяля-Брента.

2. Математическая формулировка задачи о поведении равнозавихренной вихревой области в неоднородном рэнзовихренном потоке. Сведение задачи к теории гравитационного потенциала.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 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.

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам контрольных, самостоятельных работ/тестов по каждой теме. Также дифференцированный зачет проводится путем организации специального опроса в устной форме, если результатом выполнения контрольной работы является оценка неудовлетворительно или оценка отсутствует по уважительной причине.