



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Физика сплошных сред»
для направления 03.03.02 Физика

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования**

**"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Факультет физики

**Рабочая программа дисциплины
Физика сплошных сред**

для образовательной программы «Физика»
направления подготовки 03.03.02 Физика
уровень высшего образования – бакалавриат

Разработчик(и) программы
Бурмистров И.С., д.ф.-м.н., iburmistrov@hse.ru

Утверждена Координационным советом факультета физики
«30» июня 2017 г., № протокола 5

Академический руководитель
образовательной программы Трунин М.Р. _____

Москва, 2017

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и
другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ 03.03.02 «Физика» по подготовке бакалавров;
- Учебным планом университета по образовательной программе 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров, утвержденным в 2017 г.

2 Цели освоения дисциплины

Курс предназначен для формирования навыков обращения студентов с задачами, связанными со статикой и динамикой сплошных сред. Встречающиеся в природе сплошные среды обладают различной симметрией, с одной стороны – это жидкости, с другой стороны – это твердые тела, точнее кристаллы. Кристаллы обладают различной симметрией, жидкости имеют разнообразные реологические свойства. Помимо этого, имеется широкий класс промежуточных между кристаллами и жидкостями фаз – жидкие кристаллы. Таким образом, механика сплошных сред имеет дело с широчайшим набором объектов. Тем не менее, описание всех этих объектов допускает единообразный подход, основанный на понятии непрерывной среды, физические свойства которой описываются в рамках дифференциальных уравнений в частных производных. Чрезвычайно важную роль в описании сплошной среды имеют симметричные соображения, именно симметрией той или иной фазы, а также законами сохранения (массы, энергии, импульса) определяется конкретный вид описывающих ее уравнений. Любая сплошная среда обладает несколькими модами, которые описывают ее релаксацию к равновесию. Число этих мод зависит от симметрии фазы. Одной из особенностей гидродинамики является важная роль нелинейных явлений, которые наиболее ярко проявляются в явлении турбулентности, которая представляет собой хаотическое состояние жидкости, возникающее при больших числах Рейнольдса. Для жидкости характерны также различного рода неустойчивости, которые также могут вести к хаотическому состоянию. В механике кристаллов и, особенно, жидких кристаллов важную роль играют дефекты идеальной структуры (дислокации, дисклинации и т.п.), которые неизбежно возникают в среде и существенно влияют на ее физические свойства. Предлагаемый курс является введением в обозначенный круг вопросов, он имеет целью как продемонстрировать те или иные физические явления, так и научить студентов разбираться в их теоретическом описании. Предполагается, что одна лекция будет охватывать одну-две темы из предлагаемых ниже.

Целями освоения дисциплины "Физика сплошных сред" являются:

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических представлений в области физики сплошных сред,
- приобретение навыков получения количественных оценок основных параметров, характеризующих свойства жидкостей и газов,
- формирование подходов к проведению исследований в разных областях физики и анализу полученных результатов,
- развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих развивать качественные и количественные физические модели для исследования статических и динамических свойств жидкостей и газов в широком диапазоне параметров



3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код по ФГОС/ НИУ	Компетенция	Дескрипторы- показатели достижения компетенций	Способы формирования
ПК-1	Способен применять знания и понимания для разработки и организации проектов работ в избранной области.	РБ – учиться применять специфические алгоритмы, инструменты и средства, необходимые для решения задач физики сплошных сред: фундаментальные понятия физики сплошных сред, законы сохранения и симметрия среды; эйлерову и лагранжеву картины движения; описание реологических свойств жидкостей; тензор деформации кристаллических тел; описание жидких кристаллов; моды возбуждений в сплошной среде; влияние дефектов идеальной кристаллической структуры на физические свойства; статистическое описание хаотических течений.	Лекции, семинары
ПК-11	Способен гибко адаптироваться к различным профессиональным ситуациям, проявлять творческий подход, инициативу и настойчивость в достижении целей профессиональной деятельности и личных.	РБ/СД – предлагаемые в рамках курса задачи из различных предметных областей требующие творческого подхода и переосмысления полученных навыков анализа поведения плазмы, жидкости и газа	Лекции, семинары, самостоятельное изучение материала

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к базовой профильной части цикла дисциплин студентов, обучающихся на бакалаврской программе.

Трудоемкость курса – 2 з.е.

Общее количество часов – 114

Количество аудиторных часов 32, в том числе: 32 часов лекций, 32 часов семинаров.

Количество часов самостоятельной работы – 50

Итоговый контроль: прием экзамена в устной форме после 2-го модуля



Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин:

- Математический анализ
- Классические физические эксперименты
- Линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения
- Химия
- Статистический анализ данных космического эксперимента
- Практикум по физике низких температур
- Элементы математического аппарата физики

5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	
1	Уравнения гидродинамики. Ламинарные течения. Поверхностные волны и звук.	28	8	8	12
2	Гидродинамические неустойчивости, турбулентность. Звуковая турбулентность. Неньютоновские жидкости.	28	8	8	12
3	Теория упругости. Тензор упругих напряжений. Термодинамика деформаций. Упругие волны, их поглощение.	40	11	11	18
4	Упругие свойства нематиков, смектиков, холестериков. Дисклинация.	18	5	5	8
Итого:		114	32	32	50

Формы контроля знаний студентов:

Тип контроля	Форма контроля	модули		Параметры
		1	2	
Промежуточный	Контрольная работа	9 неделя		Письменное решение 3 задач по пройденному материалу
Промежуточный	Контрольная работа		14 неделя	Письменное решение 3 задач по пройденному материалу
Промежуточный (завершающий по дисциплине)	Экзамен		15 неделя	Устный экзамен 60 мин



6 Критерии оценки знаний, навыков

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Текущий контроль предусматривает две контрольные работы, выполняемые в конце 3-го и 4-го модулей соответственно.

Контрольная работа включает письменное решение трех задач в выбранном каждым студентом билете по темам пройденного материала в течение 1.5 часов.

Промежуточный (завершающий по дисциплине) контроль: экзамен в конце 2-го модуля. Проводится в устной форме. Билет содержит 2 вопроса.

6.1 Порядок формирования оценок по дисциплине

Текущая оценка $O_{\text{текущая}}$ рассчитывается как взвешенная сумма оценок за две контрольные работы:

$$O_{\text{текущая}} = 0,5 * O_{\text{кр1}} + 0,5 * O_{\text{кр2}},$$

где каждая оценка ($O_{\text{кр1}}$ и $O_{\text{кр2}}$) выставляется по 10-ти балльной шкале. Способ округления – арифметический.

Итоговая оценка по дисциплине определяется соотношением

$$O_{\text{итоговая}} = 0,5 * O_{\text{текущая}} + 0,5 * O_{\text{экз}},$$

где $O_{\text{экз}}$ – оценка за экзамен.

Студенты, у которых $O_{\text{накопленная}} = 10$, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой $O_{\text{накопленная}} = 8$ или $O_{\text{накопленная}} = 9$ могут отвечать только на половину билета (1 вопрос по выбору) на устном экзамене.

7 Содержание дисциплины

Раздел 1. Уравнения гидродинамики. Ламинарные течения. Поверхностные волны и звук.

Тема 1.1 Идеальная и вязкая жидкости.

Течение идеальной жидкости. Гидростатика. Законы сохранения. Теоремы Кельвина. Несжимаемая жидкость. Потенциальное обтекание. Присоединенная масса. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Закон подобия. Число Рейнольдса.

Тема 1.2. Ламинарные и потенциальные течения.

Течения при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса. Пограничный слой. Движение около линии отрыва. Поверхностные явления. Формула Лапласа. Капиллярно-гравитационные волны. Звук.

Литература по разделу:

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика, т.6 Гидродинамика -М. Физматлит 2015
2. Г. Фалькович. Современная гидродинамика. РХД 2011



Раздел 2 Гидродинамические неустойчивости, турбулентность. Звуковая турбулентность. Неньютоновские жидкости.

Тема 2.1 Гидродинамические неустойчивости и турбулентность.

Гидродинамические неустойчивости. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Неустойчивость Релея-Тейлора. Конвективная неустойчивость. Турбулентность. Прямой и обратный каскад. Теория Колмогорова.

Тема 2.2 Нелинейные звуковые волны и звуковая турбулентность.

Нелинейные звуковые волны. Волна Римана. Ударные волны. Уравнение Бюргерса. Звуковая турбулентность. Число Маха.

Тема 2.3 Дополнительные вопросы гидродинамики.

Релятивистская гидродинамика. Тензор энергии-импульса. Сверхтекучая гидродинамика. Неньютоновские жидкости.

Литература по разделу:

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика, т.6 Гидродинамика -М. Физматлит 2015
2. Г. Фалькович. Современная гидродинамика. РХД 2014
3. Турбулентность. Наследие А. Н. Колмогорова / У. Фриш; Пер. с англ. А. Н. Соболевского; Под ред. М. Л. Бланка. - М. : Фазис, 1998.

Раздел 3 Теория упругости. Тензор упругих напряжений. Термодинамика деформаций. Упругие волны, их поглощение.

Тема 3.1 Основные понятия и уравнения теории упругости.

Основные уравнения теории упругости. Тензор деформаций. Тензор упругих напряжений. Термодинамика деформаций. Закон Гука. Деформации с изменением температуры. Упругие свойства кристаллов. Продольные деформации. Кручение. Изгиб. Дислокации.

Тема 3.2 Динамические и термодинамические явления при деформациях.

Упругие волны. Волны Рэлея. Ангармонические колебания. Теплопроводность и вязкость в твердых телах. Поглощение звука.

Литература по разделу:

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика, т.7 Теория упругости -М. Физматлит 2003
2. Ильюшин, А. А., Ломакин, В. А., & Шмаков, А. П. (1973). Задачи и упражнения по механике сплошной среды.

Раздел 4. Упругие свойства нематиков, смектиков, холестериков. Дисклинации.

Тема 4.1. Обобщенная восприимчивость.

Микроскопическое строение жидких кристаллов и способ их описания в терминах непрерывной среды. Свободная энергия нематиков, смектиков, холестериков. Упругие свойства жидких кристаллов. Виды дисклинаций, их энергия.



Литература по разделу:

1. M. Kleman and O. D. Lavrentovich, Soft Matter Physics: An Introduction, Springer, 2003.

8 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

8.1 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

1. Примеры задач для первой контрольной работы:

1.) Имеется постоянно действующий источник на дне большого резервуара. Полагая течение потенциальным, найдите высоту максимального подъёма поверхности жидкости для двух случаев:

- прямая узкая щель с потоком q (г/см с) на единицу длины;
- точечный источник с потоком Q (г/с).

Плотность жидкости ρ , глубина вдали от источника h . Ускорение свободного падения g .

2.) Найдите закон дисперсии волн на границе между двумя жидкостями, из которых верхняя течёт, а нижняя покоится, в присутствии силы тяжести g и поверхностного натяжения α . Опишите возможные неустойчивости. Рассмотрите, в частности, два случая:

- $\rho_1 > \rho_2$ (тяжёлая жидкость над лёгкой);
- $\rho_1 \ll \rho_2$ (ветер над водой).

2. Примеры задач для второй контрольной работы:

1.) Определить деформацию полого шара (внутренний радиус a , наружный – b), находящегося под действие однородного внутреннего давления p_0 и однородного внешнего давления p_1 .

2.) Нематик помещён между двумя одинаковыми параллельными протяжёнными плоскими пластинами, поверхности которых разделены расстоянием L . На границе пластины директор нематика ориентирован параллельно границе вдоль некоторого направления на поверхности пластины. Найти энергию деформации поля директора, если угол между его направлениями на пластине равен θ . Каковы возможные значения этой энергии? Найти момент силы (на единицу площади), действующий на пластину.

3.) Определить коэффициент затухания продольных собственных колебаний стержня.

3. Примеры вопросов устного экзамена.

Билет 1.

- 1.) Поверхностные гравитационные волны: закон дисперсии и затухание.
- 2.) Тензор упругих напряжений, его связь с тензором деформаций. Упругая энергия.

Билет 2

- 1.) Турбулентность. Прямой и обратный каскад.
- 2.) Свободная энергия нематиков, виды дисклинаций в них. Упругие свойства нематиков.

Билет 3

- 1.) Теплопроводность и вязкость в твердых телах. Поглощение звука.
- 2.) Нелинейные звуковые волны. Волна Римана. Ударные волны.



9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

9.1 Основная литература

1. Т. 6 : Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Изд. 6-е, испр. – 2015. – 727 с. - ISBN 978-5-922116-25-1.
2. Современная гидродинамика: краткий курс / Г. Фалькович. – М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2014. – 194 с. - ISBN 978-5-939729-77-2.
3. Т.7 : Теория упругости / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Изд. 5-е, стер. – 2003. – 259 с. - ISBN 5-922101-22-6.
4. Задачи и упражнения по механике сплошной среды: учеб. пособие / А. А. Ильюшин, В. А. Ломакин, А. П. Шмаков. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 199 с.

9.2 Дополнительная литература

1. Турбулентность. Наследие А. Н. Колмогорова / У. Фриш; Пер. с англ. А. Н. Соболевского; Под ред. М. Л. Бланка. - М. : Фазис, 1998.
2. Лурье, А. И. Нелинейная теория упругости. Москва, Наука, 1980.
3. Блинов Л.М. Жидкие кристаллы: Структура и свойства. URSS. 2013
4. M. Kleman and O. D. Lavrentovich, Soft Matter Physics: An Introduction, Springer, 2003.1.

9.3 Источники в Интернете:

<http://homepages.itp.ac.ru/~lebede/>

9.4 Дистанционная поддержка дисциплины

Дистанционная поддержка дисциплины обеспечивается использованием LMS. В разделах дисциплины «Уравнения гидродинамики. Ламинарные течения. Поверхностные волны и звук» и «Гидродинамические неустойчивости, турбулентность. Звуковая турбулентность. Неньютоновские жидкости.» размещаются дополнительные материалы, связанные с лекциями, материалы для самоподготовки, оценки текущего и итогового контроля.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Проектор для лекций и семинаров.