

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Физика высоких плотностей энергии

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма
и аттосекундная физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

к. ф.-м. н., зав. лаб. ОИВТ РАН К.В. Хищенко

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Физика высоких плотностей энергии»

В курсе изучаются физические явления и процессы при высоких плотностях энергии, наблюдаемые как в природных условиях, так и в технике.

Проводится краткий обзор исследований в условиях экспериментов с ударными волнами, при воздействии коротких интенсивных лазерных импульсов на вещество, под действием потоков релятивистских частиц высокой плотности мощности, при электрическом взрыве проводников. Обсуждаются эффекты ядерного взрыва и проблема реализации идеи управляемого термоядерного синтеза. Дается введение в физику экстремальных состояний внутри звезд и лабораторную астрофизику высоких плотностей энергии.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Физика высоких плотностей энергии» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре и относится к обязательной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Физика высоких плотностей энергии» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	<p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).	<p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в	<p>ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ</p>

области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3).	проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.
---	--

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Введение в основы физики высоких плотностей энергии

Предмет курса. Актуальность исследования физики высоких плотностей энергии. Основные методы получения экстремальных состояний вещества в лабораторных условиях. Высокие плотности энергии в природных явлениях.

Тема 2. Ударно-волновые явления

Понятие ударной волны. Законы сохранения массы, импульса и энергии на фронте ударной волны. Требования к способам получения ударных волн в экспериментах с контролем состояния ударно-сжатого вещества. Метод торможения. Метод отражения. Особенности ударного сжатия пористых образцов. Предельная степень сжатия в ударной волне. Изэнтропическое расширение ударно-сжатого вещества. Метод преград.

Тема 3. Электрический взрыв проводников под действием мощных импульсов тока

Основные соотношения и классификация режимов электровзрыва. Особенности электрического взрыва проводников в вакууме. Особенности электрического взрыва проводников в среде. Эксперименты по электровзрыву проволоочек. Эксперименты по электровзрыву фольг в массивных диэлектрических обкладках. Электромагнитные способы генерации ударных волн в веществе.

Тема 4. Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с веществом

Физические эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Генерация ударных волн с помощью лазерных импульсов различной длительности. Процессы при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на металлы.

Тема 5. Взаимодействие корпускулярных пучков с веществом

Поглощение энергии высокоэнергетических частиц в веществе. Эксперименты с пучками тяжелых ионов. Эксперименты с пучками протонов. Эксперименты с пучками электронов.

Тема 6. Физические эффекты ядерного взрыва

Ядерные реакции с выделением энергии. Достижение условий для ядерного взрыва. Использование энергии ядерного взрыва для физических исследований экстремальных состояний вещества.

Тема 7. Задача управляемого термоядерного синтеза

Реакции термоядерного синтеза. Инерциальный принцип достижения условий для зажигания термоядерной реакции. Ударно-волновое зажигание. Режим быстрого зажигания. Использование лазерного излучения для термоядерного зажигания. Использование тяжелоионных пучков для термоядерного зажигания. Использование протонных пучков для

термоядерного зажигания. Некоторые особенности гидродинамических течений с термоядерным горением. Термоядерная детонация.

Тема 8. Экстремальные состояния внутри и снаружи планет и звезд

Состояния вещества при сверхсильных сжатиях. Строение планет. Формирование и эволюция звезд. Космические струи. Радиационные ударные волны.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Семинаров	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Физика высоких плотностей энергии	2	72	34	17	17	38	

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Физика высоких плотностей энергии» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Введение в основы физики высоких плотностей энергии	10	2	-	2	6	Собеседование, опрос
2	Ударно-волновые явления	11	3	-	3	4	
3	Электрический взрыв проводников под действием мощных импульсов тока	8	2	-	2	4	
4	Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с веществом	8	2	-	2	4	
5	Взаимодействие корпускулярных пучков с веществом	8	2	-	2	4	
6	Физические эффекты ядерного взрыва	8	2	-	2	4	
7	Задача управляемого термоядерного синтеза	8	2	-	2	4	
8	Экстремальные состояния внутри и снаружи планет и звезд	8	2	-	2	4	
	Промежуточная аттестация	4		-		4	Экзамен в устной форме
ИТОГО:		72	17	-	17	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Физика высоких плотностей энергии» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика высоких плотностей энергии» проводится в форме зачета. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основы физики высоких плотностей энергии ОПК-3.Б 3-6	Отсутствие знаний основ физики высоких плотностей энергии	В целом успешные, но не систематические знания основ физики высоких плотностей энергии	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основ физики высоких плотностей энергии	Успешные и систематические знания основ физики высоких плотностей энергии
УМЕТЬ: выявлять основные	Отсутствие умения выявлять основные физические эффекты	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое умение

физические эффекты при высоких плотностях энергии ОПК-3.Б У-6	при высоких плотностях энергии	систематическое умение выявлять основные физические эффекты при высоких плотностях энергии	отдельные пробелы умение выявлять основные физические эффекты при высоких плотностях энергии	выявлять основные физические эффекты при высоких плотностях энергии
ВЛАДЕТЬ: методами анализа физических эффектов при высоких плотностях энергии ОПК-3.Б В-6	Отсутствие/фрагментарное владение методами анализа физических эффектов при высоких плотностях энергии	В целом успешное, но не систематическое владение методами анализа физических эффектов при высоких плотностях энергии	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами анализа физических эффектов при высоких плотностях энергии	Успешное и систематическое владение методами анализа физических эффектов при высоких плотностях энергии

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Сформулировать законы сохранения массы, импульса и энергии во фронте ударной волны.
2. Изложить различия быстрого и медленного режимов электровзрыва проводников.
3. Описать процессы при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на металлы.
4. Указать традиционные пути реализации быстрого зажигания термоядерного горючего.
5. Охарактеризовать состояния вещества при сверхсильных сжатиях.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Предмет курса физики высоких плотностей энергии.
2. Актуальность исследования физики высоких плотностей энергии.
3. Основные методы получения экстремальных состояний вещества в лабораторных условиях.
4. Высокие плотности энергии в природных явлениях.
5. Понятие ударной волны.
6. Законы сохранения массы, импульса и энергии на фронте ударной волны.
7. Требования к способам получения ударных волн в экспериментах с контролем состояния ударно-сжатого вещества.
8. Метод торможения.

9. Метод отражения.
10. Особенности ударного сжатия пористых образцов.
11. Предельная степень сжатия в ударной волне.
12. Изоэнтропическое расширение ударно-сжатого вещества.
13. Метод преград.
14. Основные соотношения и классификация режимов электрического взрыва проводников под действием мощных импульсов тока.
15. Особенности электрического взрыва проводников в вакууме.
16. Особенности электрического взрыва проводников в среде.
17. Эксперименты по электрическому взрыву проволочек.
18. Эксперименты по электрическому взрыву фольг в массивных диэлектрических обкладках.
19. Электромагнитные способы генерации ударных волн в веществе.
20. Физические эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом.
21. Генерация ударных волн с помощью лазерных импульсов различной длительности.
22. Процессы при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на металлы.
23. Поглощение энергии высокоэнергетических частиц в веществе.
24. Эксперименты с пучками тяжелых ионов.
25. Эксперименты с пучками протонов.
26. Эксперименты с пучками электронов.
27. Ядерные реакции с выделением энергии.
28. Достижение условий для ядерного взрыва.
29. Использование энергии ядерного взрыва для физических исследований экстремальных состояний вещества.
30. Реакции термоядерного синтеза.
31. Инерциальный принцип достижения условий для зажигания термоядерной реакции.
32. Ударно-волновое термоядерное зажигание.
33. Режим быстрого зажигания термоядерного горючего.
34. Использование лазерного излучения для термоядерного зажигания.
35. Использование тяжелоионных пучков для термоядерного зажигания.
36. Использование протонных пучков для термоядерного зажигания.
37. Некоторые особенности гидродинамических течений с термоядерным горением.
38. Термоядерная детонация.
39. Состояния вещества при сверхсильных сжатиях.
40. Строение планет.
41. Формирование и эволюция звезд.
42. Космические струи.
43. Радиационные ударные волны.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
2. Фортов В. Е. Физика высоких плотностей энергии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.

Дополнительная литература.

1. Фортов В. Е. Экстремальные состояния вещества. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.

2. Фортов В. Е., Хоффманн Д., Шарков Б. Ю. Интенсивные ионные пучки для генерации экстремальных состояний вещества // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. С. 113–138.
3. Фортов В. Е. Мощные ударные волны и экстремальные состояния вещества // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. С. 347–368.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.

(Интернет-ресурсы.

- <http://www.ihed.ras.ru/rusbank/>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуется аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, управляющим компьютером, экраном и обычной учебной доской.