

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета
ННГУ протокол от
«02» декабря 2024 г. № 10

Рабочая программа дисциплины
«Экспериментальные методы лазерной физики»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность
1.3.19 Лазерная физика

Программа подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Лазерная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2025 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Экспериментальные методы лазерной физики» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

Цель дисциплины состоит в формировании у студента целостной системы знаний по теоретическим и экспериментальным основам лазерно-плазменного взаимодействия на петаваттном уровне лазерной мощности, сопутствующим технологиям и приложениям, включая медицину, безопасность и энергетику..

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

знать:

- фундаментальные разделы физики и радиофизики, необходимые для решения научно-исследовательских задач в области экспериментальных методов лазерной физики;
- основные возможности современного оптического и лазерного оборудования, а также новейший отечественный и зарубежный опыт его использования;

уметь:

- использовать знание фундаментальных разделов физики и радиофизики при решении научно-исследовательских задач в области экспериментальных методов лазерной физики;
- использовать современное оптическое и лазерное оборудование;

владеть:

- опытом использования знаний по фундаментальным разделам физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач в области экспериментальных методов лазерной физики;

3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского	Занятия лабораторного	Консультации	Всего	
Принципы работы мощных лазерных систем	16	8				8	8
Основы физики плазмы	16	8				8	8
Режимы лазерно-плазменного взаимодействия	16	8				8	8

Диагностика лазерно-плазменного взаимодействия	12	6				6	6
Лазерно-плазменные технологии для различных отраслей хозяйства	12	6				6	6
Промежуточная аттестация	зачет						
Итого	72	36				36	36

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля
1.	Принципы работы мощных лазерных систем	Лазерное усиление, усиление чирпированных импульсов, стретчер-компрессор, модуляция добротности, mode-lock, параметрическое усиление, гауссовы пучки, изображающие системы, интерференция пучков, когерентное сложение лазерных импульсов, измерение фемтосекундных импульсов, контраст лазерного импульса и методы его улучшения.	лекции	-
2.	Основы физики плазмы	Волны в плазме, плазма как оптическая среда, замагниченная плазма, МГД приближение, плазменная оптика	лекции	-
3.	Режимы лазерно-плазменного взаимодействия	Ускорение в поле кильватерной волны, бетатронное излучение, ускорение ионов, прочие схемы ускорения и генерации вторичного излучения)	лекции	-
4.	Диагностика лазерно-плазменного взаимодействия	Теневая, интерференционная диагностики, поляриметрия, томсоновское рассеяние, спектрометрия частиц, рентгеновская спектрометрия, методы точного наведения на мишень, радиография, дефлектометрия	лекции	-
5.	Лазерно-плазменные технологии для различных отраслей хозяйства	Медицинские приложения, приложения безопасности, ЛТС, лабораторная астрофизика, управление вторичным излучением, использование комбинированных лазерно-плазменных схем	лекции	-

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета. Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса, выполнении задания/решении задачи (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

Типовые контрольные вопросы:

1. Обзор применения мощных лазерных систем (генерация рентгена, ускорение частиц, медицинские приложения, приложения безопасности, лазерный термоядерный синтез, лабораторная астрофизика).
2. Принципиальные основы мощных лазерных систем (СПА, стретчер-компрессор, модуляция добротности, mode-lock, параметрическое усиление).

3. Гауссовы пучки, фокусировка гауссова пучка, aberrации излучения на языке фазы и на языке кружка рассеяния. Адаптивные системы коррекции волнового фронта. ОВФ.
4. Изображающие системы, разрешающая способность оптической системы, масштабный коэффициент.
5. Интерференция пучков, влияние поляризации на интерференцию интерференция в фемтосекундных импульсов.
6. Параметрическое усиление, условия сверхширокополосного усиления, генерация второй гармоники.
7. Контраст лазерного импульса и методы его улучшения.
8. Плазма как оптическая среда, показатель преломления плазмы, прозрачная и закритическая плазма. ларморовский радиус, плазменная частота.
9. Замагниченная плазма, кинетическое и магнитное давление.
10. Плазменная оптика, плазменные зеркала и микроплазмоника.
11. Ускорение в поле кильватерной волны, бетатронное излучение. Ускорение ионов. Прочие схемы ускорения и генерации вторичного излучения (Обратное комптоновское рассеяние, обратное рамановское рассеяние).
12. Интерференционная диагностика, тайминг, непланарные интерференционные схемы.
13. Томсоновское рассеяние.
14. Спектрометрия частиц, электроны, протоны, нейтроны. Рентгеновская спектрометрия, характеристическое излучение.
15. Методы точного наведения лазерного импульса на мишень, стабильность положения пятная фокусировки, когерентное сложение лазерных импульсов.
16. Лабораторная астрофизика. Параметры подобия, аккреция, астрофизические джеты, присоединение магнитных линий.
17. Медицинские приложения. Терапия рака. Малодозный фазоконтрастный биоимиджинг. Позитрон-эмиссионная томография.
18. Приложения безопасности. Неразрушающая инспекция потенциально опасных объектов. Ядерная резонансная флуоресценция для детектирования опасных веществ за непроницаемой перегородкой.
19. УТС: ЛТС, Токомак, Z-pinch. Основы ядерной физики. Ядерные устройства.
20. Управление вторичным излучением. Магнитная оптика. Управление пучками заряженных частиц при помощи динамических плазменных полей.
21. Комбинированные схемы взаимодействия. Генерация нейтронов. Нейтронно-рентгеновский имиджинг.

Типовые задания/задачи:

1. Плазменная длина волны для концентрации $N_e = 5 \cdot 10^{18}$.
2. Какая когерентная длина для спектрально ограниченного импульса с шириной спектра 30nm на центральной длине волны 910nm.
3. Какова когерентная длина стретчируемого импульса длительностью одна наносекунда со спектром шириной 30 нм, на центральной длине волны 910 нм.
4. Схема интерферометра Маха-Цандера.
5. Пиковая интенсивность лазерного импульса диаметром мощностью 1ПВт при фокусировке $f/4$ и коэффициенте Штреля = 0.3.
6. Какое наклонное фокусное расстояние должно быть у параболического зеркала для фокусировки лазерного импульса мощностью 180 ТВт диаметром 10 см в пятно с интенсивностью 10^{21} Вт/см².
7. Одно из плеч интерферометра содержит два перископа. Один из перископов – планарный, входной пучок второго- повернут относительно выходного на 30 градусов

вокруг вертикальной оси. Какой будет контраст у интерференционной картины. Какую лямбда пластину и как нужно использовать для получения контраста 100%.

8. В чем заключается фазоконтрастный метод Цернике
9. Компрессор состоит из двух пар параллельных решеток. Расстояние между парами увеличили в два раза, во сколько раз увеличится дисперсия компрессора?
10. Длина волны 910 нм, размер пучка на входной решетке 1 мм. Размер пучка на второй решетке 1mm-30mm. Число штрихов 1200 штрихов/мм.
11. Бесконечная идеальная оптическая система $f/2$ фокусирует Гауссов лазерный импульс с полной шириной 10 см и прямоугольный лазерный импульс с диаметром 10 см. В каком случае пиковая интенсивность будет выше и во сколько раз?
12. Два когерентных между собой спектрально ограниченных фемтосекундных импульса (30фс, 910нм) фокусируются в одно пятно при помощи двух независимых фокусирующих систем $f/4$. Угол между сходящимися пучками $1/4$. Спектры импульсов совпадают. Какая интенсивность ожидается при фокусировке? Какая форма пятна ожидается? При каких обстоятельствах интенсивность увеличивается в 2, 4, и 8 раз?
13. В результате модуляции добротности рождается импульс длительностью 15 нс и энергией 15 мДж. Каким образом изменится энергия импульса при увеличении а) инверсии населенности б) коэффициента усиления по слабому сигналу в 2 раза?
14. Что такое трансмутация?
15. Чем нейтроны отличается использование протонов от нейтронов для радиографии
16. Какая глубина брэгговского пика поглощения протонов для энергии 100, 200, и 250 МэВ.
17. Какова энергия покоя электрона?
18. Сколько квантов в одном Джоуле у лазерного импульса с центральной длиной волны 910 нм.
19. Что быстрее протон с кинетической энергией ГэВ или электрон с кинетической энергией 1 МэВ?
20. В чем отличия диодной и ламповой оптической накачки активного лазерного элемента?
21. В чем отличие параметрического и прямого лазерного усиления света?
22. Какова ширина полосы усиления Nd:Glass?
23. Режим модуляции добротности, принципы работы.
24. Режим синхронизации мод, принцип работы
25. Известные ахроматические aberrации и соответствующие кружки рассеяния.
26. Чем изобары отличаются от нуклидов?
27. Что общего в принципах работы термоядерной бомбы и концепции прямого обжаривания ЛТС?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература:

1. Drake R.P. High-energy-density physics (Springer, 2006)(ISBN 3540293140)
2. Борн М., Вольф Э., Основы оптики, 1973
3. Bahaa E. A. Saleh-Fundamentals of Photonics (1991)
4. Smith, Warren J.Modern optical engineering / Warren J. Smith—3rd ed. (2000)
5. Н.Б. Делоне Взаимодействие лазерного излучения с веществом (1989)
6. Беспалов В.Г., С. А. Козлов, Крылов В.Н., Путилин С.Э. ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ОПТИКА И ФЕМТОТЕХНОЛОГИИ - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010 – 234 с.
7. ШИКАНОВ А.С. ЛАЗЕРНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ (ФИЗИКА, 1997)

8. Laser-Driven Particle Acceleration Towards Radiobiology and Medicine. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering (Springer International Publishing, 2016). doi:10.1007/978-3-319-31563-8

б) Дополнительная литература:

1. Danson, C., Hillier, D., Hopps, N. & Neely, D. Petawatt class lasers worldwide. High Power Laser Science and Engineering 3, (2015).
2. Kar, S. et al. Guided post-acceleration of laser-driven ions by a miniature modular structure. Nature Communications 7, 10792 (2016).
3. Lozhkarev, V. V. et al. Compact 0.56 Petawatt laser system based on optical parametric chirped pulse amplification in KD*P crystals. Laser Physics Letters 4, 421–427 (2007).
4. Daido, H., Nishiuchi, M. & Pirozhkov, A. S. Review of laser-driven ion sources and their applications. Reports on Progress in Physics 75, 56401 (2012).
5. Macchi, A., Borghesi, M. & Passoni, M. Ion acceleration by superintense laser-plasma interaction. Reviews of Modern Physics 85, 751–793 (2013).
6. Powers, N. D. et al. Quasi-monoenergetic and tunable X-rays from a laser-driven Compton light source. Nature Photonics 8, 28–31 (2013).
7. Wenz, J. et al. Quantitative X-ray phase-contrast microtomography from a compact laser-driven betatron source. Nature Communications 6, 7568 (2015).
8. Montgomery, D. S. et al. Use of external magnetic fields in hohlraum plasmas to improve laser-coupling. Physics of Plasmas 22, 10703 (2015).
9. Nishiuchi, M. et al. Quasi-monochromatic pencil beam of laser-driven protons generated using a conical cavity target holder. Physics of Plasmas 19, 30706 (2012).
10. Jiang, S. et al. Microengineering Laser Plasma Interactions at Relativistic Intensities. Physical Review Letters 116, (2016).
11. Buck, A. et al. Real-time observation of laser-driven electron acceleration. Nature Physics 7, 543–548 (2011).

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php>

<http://www.lib.unn.ru>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;

- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор А.А. Соловьев

Рецензент А.П. Савикин

Заведующий кафедрой общей физики М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании Методической комиссии Института /факультета от «02» декабря 2024 года, протокол № 10.