

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИТПМ СО РАН
чл.-корр. РАН

А.Н. Шиплюк

«24» 09 2018 г.

Физические основы и методы диагностики в эксперименте

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки аспирантов Института: 01.06.01 Математика и механика,

Направленность: 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника

Исследователь. Преподаватель - исследователь.

Форма обучения - очная

Новосибирск 2018

Содержание

Аннотация	3
1. Цели освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре ООП.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоении дисциплины.....	4
4. Структура и содержание дисциплины.....	5
5. Образовательные технологии	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.....	7
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины Рекомендованная литература к теоретическому курсу	8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	9
10. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы аспирантов.....	9

Аннотация

Программа курса «Физические основы и методы диагностики в эксперименте» составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.06.01 «Математика и механика».

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, самостоятельная работа аспиранта, контрольная работа, зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:
Промежуточный контроль: зачет.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа (из них 34 контактных: предусмотрены 26 часов лекционных, 4 часа семинаров (текущая аттестация), 38 часов самостоятельной работы, включая период сессии, 4 часа – консультация перед зачетом и зачет).

Се- местр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)	
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятель- ная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттеста- ции	Контактная работа обучающихся с пре- подавателем (кон- сультации, зачет)
		Лекции	Семинары	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
	72	26	4		30	8	4
Всего 72 часа – 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 34 часа - в интерактивных формах 8 часов							

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Физические основы и методы диагностики в эксперименте» имеет своей целью ознакомление с физическими принципами, лежащими в основе оптической диагностики, процессами взаимодействия излучения с веществом, оптическими методами и техникой измерения параметров газовых и двухфазных потоков.

2. Место дисциплины в структуре программы

Дисциплина (курс) обеспечивает знание методов подготовки и проведения современного эксперимента. Данный курс необходим при проведении физических исследований по заданной тематике, формулировки новых задач, возникающих в ходе научных исследований; выборе технических средств и необходимых методов исследования, подготовке оборудования при работе на экспериментальных установках.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина направлена на формирование у аспиранта следующих компетенций:

способность свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики деформируемого твердого тела (ПК-1);

способность использовать знания современных проблем и новейших достижений механики деформируемого твердого тела в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);

способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики деформируемого твердого тела, а также решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**

1. Основные процессы взаимодействия излучения с веществом.
2. Особенности и возможности оптических методов. Классификацию оптических методов
3. Оборудование и некоторые оптические схемы, используемые при диагностике газовых и двухфазных потоков

- **Уметь:**

1. В конкретном случае при подготовке эксперимента выбрать метод измерения
2. Оценить точность получаемого результата
3. Демонстрировать углубленные знания в области современной оптической диагностики

- **Владеть:**

Представлением о современных методах и приборах для проведения эксперимента

4. Структура и содержание дисциплины «Физические основы и методы диагностики в эксперименте»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Семинары (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Изучение основных процессов взаимодействия излучения с веществом	1-6	16	8		8	
2.	Изучение физических принципов работы разнообразных приемников излучения и ознакомление с современными методами регистрации изображений	7-10	16	8		8	
3.	Опрос по пройденным темам	11	4		2	2	
4.	Изучение основных принципов, лежащих в основе применения лазеров в диагностике потоков	12-13	8	4		4	
5.	Изучение принципиальных основ оптических методов диагностики потоков, способов их практической реализации, ознакомление с примерами конкретных схем эксперимента	14-16	12	6		6	
6.	Опрос по пройденным темам	17	4		2	2	
7.	Самостоятельная подготовка к зачету		8				8
8.	Групповая консультация		2				2
9.	Зачет		2				2
	Всего		72	26	4	30	12

Введение.

Особенности и возможности оптических методов. Классификация оптических методов.

Часть 1. Основные процессы взаимодействия излучения с веществом.

1. *Основные параметры электромагнитной (оптической) волны.* Плоские волны. Гармонические волны. Разложение плоской электромагнитной волны на гармонические волны. Разложение пространственно-модулированной монохроматической волны на плоские волны. Интенсивность. Поляризация.
2. *Прохождение оптической волны через слабо ионизированный газ.* Система уравнений Максвелла для электромагнитного излучения в веществе. Усредненные (макро-) уравнения Максвелла в среде. Взаимодействие излучения с частично ионизованным газом. Значения показателя преломления среды (n) при различных длинах волн зондирующего излучения. Ход рефракции и коэффициента поглощения вблизи линии поглощения. Диэлектрическая проницаемость свободных заряженных частиц (электронов).
3. *Оптические спектры атомов.* Анализ спектра испускания. Спектры атомов с одним электроном на верхней подболочке. Правила отбора для одноэлектронных ($n\ell m_s$)-состояний. Спектр водорода. Спектры атомов щелочных металлов. Спектры атомов с двумя и более электронами на верхней подболочке. Спектры атомов с p электронами. Спектры рентгеновского излучения.
4. *Спектры молекул.* Колебательная и вращательная структуры энергетических уровней (термов) двухатомных молекул. Оценки величин колебательной и вращательной энергий. Электронные спектры двухатомных молекул. Колебательные и вращательные спектры двухтомных молекул. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул.
5. *Ширина линии излучения атома и молекулы.* Оценка параметров взаимодействия. Вероятность испускания и поглощения фотона атомной системой в единицу времени. Уширение спектральных линий, излучаемых атомами и молекулами (время жизни; спектральная мощность излучения атомной системы; доплеровское уширение; естественное уширение; лоренцевское (ударное) уширение; профиль линии и полная вероятность поглощения и вынужденного (индуцированного) излучения).
6. *Распространение излучения через вещество.* Уравнение баланса для плотности фотонов. Сечение поглощения и вынужденного излучения фотона. Коэффициент поглощения. Спектральная интенсивность собственного излучения плоского слоя возбужденного газа. Оптическая толщина. Измерение концентрации частиц методом регистрации поглощения излучения. Распространение излучения через плоский слой возбужденного газа. Изменение поглощения под влиянием падающего излучения.
7. *Термодинамические свойства газовой смеси.* Понятие равновесной температуры отдельных степеней свободы газовой смеси. Поступательные степени свободы. Вращательные степени свободы. Колебательные степени свободы Электронные уровни энергии Кинетика колебательного обмена энергией.
8. *Рассеяние фотона на атомах.* Рассеяние света. Резонансная флуоресценция. Упругое рассеяние.
9. *Рассеяние фотонов на молекулах и частицах.* Рэлеевское рассеяние. Рассеяние света крупными монодисперсными частицами (Рассеяние Ми). Комбинационное (рамановское) рассеяние света молекулами (чисто вращательный спектр комбинационного рассеяния; колебательно-вращательный спектр комбинационного рассеяния; лазерно-индуцированная флуоресценция (ЛИФ)).
10. *Нелинейная оптика.* Двухфотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация третьей гармоники и КАРС.

Часть 2. Оборудование и некоторые оптические схемы, используемые при диагностике газовых потоков.

11. *Приемники оптического излучения.* Основные характеристики приемников излучения. Глаз как приемник оптического излучения (световая чувствительность; яркостная адаптация; оптика глаза).

12. *Фотоэлектрические приемники на основе внешнего фотоэффекта.* Принцип действия приемников. Электровакуумные фотоэлементы, ФЭУ, ЭОП.
13. *Приемники на основе внутреннего фотоэффекта.* Принцип действия. Фоторезисторы. Фотоприемники с *p-n*-переходом (фотогальванический и фотодиодный режимы). Фотодиоды на основе *p-i-n*-структур. Лавинные фотодиоды. Приборы с зарядовой связью. ПЗС-линейка. ПЗС-матрица. Динамический диапазон. АЦП.
14. *Источники оптического излучения.* Источники непрерывного теплового излучения. Излучение абсолютно черного тела. Излучение нечерных тел. Модели абсолютно черного тела. Лампы накаливания. Термические плазменные излучатели. Светоизлучающие диоды.
15. *Лазеры.* Принципы работы и устройство лазера. Поглощение и коэффициенты усиления слабого сигнала. Накачка. Создание инверсной населенности. Пороговые условия. Оптический резонатор. Аксиальные и поперечные моды. Гауссовы пучки. Режимы работы лазеров. Модуляция добротности. Свойства лазерного излучения.
16. *Теневые и интерференционные методы.* Основные принципы, лежащие в основе теневых и интерференционных методов. Интерференция двух монохроматических волн. Двухлучевая интерферометрия в исследовании газовых потоков. Прямотеневой метод (метод светящейся точки). Влияние размеров источника света на качество прямотеневых изображений. О возможности использования интегральных методов для получения количественных данных.
17. *Лазерный доплеровский анемометр.* Принципы лазерной анемометрии. Дифференциальная схема ЛДА. Измерительный объем. Практические схемы ЛДА.
18. *Методы диагностики параметров потока в выделенном сечении – метод лазерного ножа.* О возможности исследования параметров газового потока в выделенном сечении. Оптические схемы формирования лазерного ножа. Регистрация изображений. Требования к параметрам светорассеивающих частиц. Влияние светорассеивающих частиц на поток.
19. *Диагностика поля скоростей в газодинамических течениях. Метод PIV-диагностики.* О панорамных измерениях скорости потоков. Основные принципы PIV-диагностики. Примеры реализации PIV-метода. PIV-диагностика в эксперименте. Экспериментальное оборудование для PIV-диагностики потоков в аэродинамических трубах.

5. Образовательные технологии

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование, доска с маркерами.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа обучающихся состоит в изучении методического материала:

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2008.
2. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Рос. Акад. наук, Сиб. Отд-ние, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича. Новосибирск: НГУ, 2009.
3. Оришич А.М. Физика атомов и молекул. / Учебное пособие. Новосибирск. НГУ 1997.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Освоение компетенций оценивается в части способности самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, способности использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий и способности свободно владеть фундаментальными разделами физики.

Текущий контроль усвоения учебного материала предусмотрен на семинарских занятиях в виде обсуждений пройденных лекционных тем.

Промежуточная аттестация включает в себя разбор конкретных ситуаций, решение практических задач.

Оценочным средством контроля знаний, умений и владений, является итоговый зачет, который проходит в устной форме по билетам (2 вопроса в билете).

Окончательная оценка за курс выставляется на основании устного ответа на зачете с учетом оценок за задания. За пропущенные лекционные занятия аспирант получает по соответствующей теме дополнительный вопрос в ходе устной беседы на зачете. Продолжительность подготовки к ответу на зачете 60 минут. Продолжительность ответа на билет – 10 минут.

Критерии оценки ответа аспиранта на зачете:

«зачет» заслуживает аспирант, показавший на зачете знание основного материала дисциплины, знакомый с основной литературой, предусмотренной программой, демонстрирующий основные знания, умения и владения;

«незачет» выставляется аспиранту, не усвоившему основной программный материал дисциплины, допустивший принципиальные ошибки при ответе.

Образцы вопросов для подготовки к зачету

1. Основные параметры оптического излучения. Общие принципы оптической диагностики потоков.
2. Распространение оптического пучка в среде (поглощение, изменение фазы, рефракция, поляризация).
3. Рассеяние света. Модель элементарного рассеивателя. Рэлеевское рассеяние.
4. Особенности резонансного взаимодействия излучения с веществом.
5. Лазерно-индуцированная флуоресценция
6. Глаз как приемник оптического излучения.
7. Приемники на основе внешнего фотоэффекта (фотоэлементы, ФЭУ).
8. Приемники на основе внутреннего фотоэффекта (фотодиоды).
9. Тепловые источники сплошного спектра. Истинная, яркостная и цветовая температура
10. Лазеры: Физические принципы работы и основные параметры.
11. Лазеры: Модовый состав излучения. Аксиальные и поперечные моды. Методы и схемы селекции мод.
12. Лазеры: Модуляция добротности - метод повышения мощности излучения. Рубиновый лазер.
13. Тепловые источники сплошного спектра. Понятие абсолютно черного тела. Спектральное распределение излучения.
14. Общие принципы применения рассеяния света для измерения температуры
15. Теневые и шпирен-методы визуализации течений
16. Лазерная доплеровская анемометрия. Основы метода.
17. Лазерная доплеровская анемометрия. ЛДА на фотосмещении.
18. ЛДА с прямым спектральным анализом.
19. Общие принципы применения рассеяния света для измерения скорости и парциальной концентрации
20. Схемы уровней и их заселение в условиях термодинамического равновесия.
21. Панорамные измерители скорости потоков. Основы методов. PIV и PTV.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2008.
2. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Рос. Акад. наук, Сиб. Отд-ние, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича. Новосибирск: НГУ, 2009.
3. Оришич А.М. Физика атомов и молекул. / Учебное пособие. Новосибирск. НГУ 1997.

б) дополнительная литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М: Наука, 1976.
2. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М: Изд-во МГУ, 1988.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. /М.: "Наука", 1982. 620 с.
4. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- 9.1. Аудитория в ИТПМ СО РАН, оборудованная всем необходимым для чтения лекций – доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор.
- 9.2. Действующие аэродинамические трубы ИТПМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, модели летательных аппаратов и их элементов.
- 9.3. Плакаты.
- 9.4. Видео-презентации.

10. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы аспирантов

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008.
2. Оришич А.М. Физика атомов и молекул. / Учебное пособие. Новосибирск. НГУ 1997.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М: Наука, 1976.
4. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М: Изд-во МГУ, 1988.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. /М.: "Наука", 1982. 620 с.
6. Мак-Картни Э. Оптика атмосферы. Рассеяние света молекулами и частицами. М.: «Мир» 1979.
7. Ишанин Г.Г. Приемники излучения оптических и оптико-электронных приборов. - Л.: Машиностроение, 1986.
8. Луидов А.В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Милчев М. Цифровые фотоаппараты. Спб.: Питер, 2004
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. -М.: Техносфера, 2005.
11. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990.
12. Васильев Л.А. Теневые методы. - М.: Наука, 1968.
13. Ринкевичюс Б.С. Лазерная диагностика потоков. М.: Изд-во МЭИ, 1990.
14. Свет Д.Я. Объективные методы высокотемпературной пирометрии при непрерывном спектре излучения. М.: Наука, 1968
15. Демтредер В. Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента. - М.: Наука, 1985.
16. Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я. Оптические методы исследования потоков. Отв ред. Академик В.Е. Накоряков. // Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2003.
17. Зайдель А.И., Островская Г.О., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. М: Наука, 1976.
18. Климкин В.Ф., Папырин А.Н., Солоухин Р.И. Оптические методы регистрации быстропротекающих процессов. - Новосибирск: Наука, 1980.

19. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия: справочник / Клочков В.П., Козлов Л.Ф., Потыкевич И.В., Соскин М.С.; Под ред. М.С. Соскина - Киев: Наук. думка, 1985.

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ;

2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 года № 1259 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

3. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации: 01.06.01 - «Математика и механика» - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 866 (в редакции от 30.04.2015).

Разработчик:

д.ф.-м.н., профессор



Оришич А.М.

