

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>   |
| <b>по дисциплине:</b>      | Физика лазеров   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза |
| <b>курс:</b>               | 1  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Б.А. Выскубенко, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем инерционного термоядерного синтеза 04.04.2022

## Аннотация

Курс «Физика лазеров» дает возможность в сжатой и доступной форме получить представление, во-первых, о классической газодинамике, во-вторых, об особенностях движения неравновесных газов и лазерной кинетике и о влиянии газодинамических процессов на характеристики газовых лазеров, а также ознакомить будущих специалистов с экспериментальными исследованиями газодинамических и химических кислород-йодных лазеров. Даются основы газодинамики стационарных потоков. Изучаются законы сохранения, термодинамические соотношения параметров газовых потоков, соотношения на скачках уплотнения. Дается представление о газодинамических лазерах (ГДЛ). Рассматриваются ГДЛ с заранее перемешанной газовой смесью. Обсуждаются различные конструкции исследовательских установок и требования к геометрии сопл. Вводятся удельные энергетические характеристики. Изучаются ГДЛ с селективным возбуждением. Сравниваются удельные энергетические характеристики лазеров с различными схемами смешения, применяемыми в экспериментах различных авторов. Обсуждаются достоинства и недостатки. Дается представление о химических кислород-йодных лазерах, их элементах. Обсуждаются различные типы генераторов синглетного кислорода, особенности потока релаксирующего газа. Сравнивается эффективность различных конструкций. Обсуждаются требования на параметры лазерных установок, дается обзор истории газодинамических и химических кислород-йодных лазеров. Освещается современное состояние проблемы, как в России, так и в мире.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

– дать студентам 1 курса магистратуры представление о классической газодинамике и о влиянии газодинамических процессов на характеристики газовых лазеров.

### Задачи дисциплины

Формирование базовых знаний в области физики лазеров.

Ознакомить будущих специалистов с экспериментальными исследованиями газодинамических и химических кислород-йодных лазеров.

Сформировать умение решения задач газодинамики.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности   |
|   | ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности  |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи            | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|   | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения   |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области                                       | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов  |

|   |  |
|---|--|
| физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий  | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования  |
| ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия | ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия  |
|   | ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности  |
|   | ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту  |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты       | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
|   | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели                  |
|   | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты             |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                                   | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)                                   |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов  |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- законы сохранения в рамках одномерной газодинамики;
- устройство и характеристики газодинамических лазеров гомогенного и смесового типов;
- устройство и характеристики химических кислород-йодных лазеров;
- иметь представление о соотношениях параметров течения газа и жидкости в рамках одномерной газодинамики;
- иметь представление о кинетике релаксационных процессов;
- иметь представление об экспериментальных установках и методах исследований газодинамических лазеров и химических кислород-йодных лазеров.

уметь:

- оценивать параметры газовых течений в рамках одномерной газодинамики;
- выбирать параметры для экспериментальных установок;
- проводить экспериментальные измерения;
- излагать результаты экспериментов в виде научно-технического отчета.

владеть:

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей;
- математическим моделированием физических 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                     | Газодинамика - наука о движении газов                                      |   | 1        |                 |                |
| 2                     | Газовые лазеры, их типы  | 1   | 1        |                 | 29             |
| 3                     | Одномерная газодинамика, законы сохранения                                 | 1   | 2        |                 |                |
| 4                     | Некоторые формулы термодинамики  | 1   | 2        |                 | 2              |
| 5                     | Уравнение энергии в безразмерном виде                                      | 1   | 2        |                 |                |
| 6                     | Уравнение энергии в механической форме, уравнение Бернулли                 | 1   | 1        |                 | 2              |
| 7                     | Общая формула расхода  | 1   | 2        |                 |                |
| 8                     | Соотношения на скачках уплотнения (ударных волнах)                         | 1   | 2        |                 | 2              |
| 9                     | Соотношения на косом скачке  | 1   | 2        |                 |                |
| 10                    | Принцип действия газодинамических лазеров                                  | 1   | 1        |                 | 2              |
| 11                    | Энергетические характеристики газодинамических лазеров                     |   | 2        |                 |                |
| 12                    | Энергетические характеристики газодинамических лазеров на N <sub>2</sub> O |   | 2        |                 | 2              |
| 13                    | Химико-газодинамические лазеры   | 1   | 2        |                 |                |
| 14                    | Генераторы синглетного кислорода   | 1   | 1        |                 | 2              |
| 15                    | Энергетические характеристики генераторов синглетного кислорода            | 1   | 2        |                 |                |
| 16                    | Организация смешения потоков в химических кислород-йодных лазерах          | 1   | 2        |                 | 2              |
| 17                    | Энергетические характеристики химических кислород-йодных лазеров           | 1   | 2        |                 |                |
| 18                    | Перспективы развития химических йодных лазеров                             | 1   | 1        |                 | 2              |
| Итого часов           |  | 15  | 30       |                 | 45             |
| Подготовка к экзамену |  | 0 час.  |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |  | 90 час., 2 зач.ед.  |          |                 |                |

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

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Газодинамика - наука о движении газов

Введение. Газодинамика - наука о движении газов. История создания классической газодинамики. Современная «физическая» газодинамика.

##### 2. Газовые лазеры, их типы

Роль газодинамики в лазерных процессах. Схема газодинамического лазера. История газодинамического лазера.

### 3. Одномерная газодинамика, законы сохранения

Уравнение сохранения массы. Уравнение сохранения энергии.

### 4. Некоторые формулы термодинамики

Соотношение Роберта Майера. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Адиабатические соотношения. Выражение для скорости звука.

### 5. Уравнение энергии в безразмерном виде

Уравнение энергии в безразмерном виде. Число Маха. Коэффициент скорости. Изэнтропическое течение. Газодинамические функции.

### 6. Уравнение энергии в механической форме, уравнение Бернулли

Уравнение энергии в механической форме, уравнение Бернулли. Функция приведенного расхода. Формула расхода. Измерение скорости потока с помощью трубки Пито. Применение формулы для давления в потоке.

### 7. Общая формула расхода

Общая формула расхода. Закон сохранения импульса. Его применение.

### 8. Соотношения на скачках уплотнения (ударных волнах)

Соотношения на скачках уплотнения (ударных волнах). Потери полного давления в прямом скачке.

### 9. Соотношения на косом скачке

Соотношения на косом скачке. Потери полного давления в косом скачке. Сопла для ускорения газового потока. Течение подогреваемого газа по трубе постоянного сечения.

### 10. Принцип действия газодинамических лазеров

Принцип действия газодинамических лазеров. Типы газодинамических лазеров. Газодинамические лазеры с заранее перемешанной смесью. Требования к соплам газодинамических лазеров. Представления о кинетике газодинамических лазеров на  $\text{CO}_2$ .

### 11. Энергетические характеристики газодинамических лазеров

Характеристики лазеров с заранее перемешанной смесью. Принцип действия смесевых газодинамических лазеров. Требования к системам смешения и смесевым соплам.

### 12. Энергетические характеристики газодинамических лазеров на $\text{N}_2\text{O}$

Энергетические характеристики газодинамических лазеров смесевого типа. Другие излучающие молекулы.

### 13. Химико-газодинамические лазеры

Химико-газодинамические лазеры. Использование газодинамических процессов в химических лазерах. Принцип действия химического кислород-йодного лазера. Представление о кинетике.

#### 14. Генераторы синглетного кислорода

Генераторы синглетного кислорода. Принцип действия. Требования к генераторам синглетного кислорода.

#### 15. Энергетические характеристики генераторов синглетного кислорода

Схемы организации потоков жидкости и газов.

#### 16. Организация смешения потоков в химических кислород-йодных лазерах

Организация смешения потоков в химических кислород-йодных лазерах. Влияние способов смешения на энергетические характеристики. Требования к организации смешения.

#### 17. Энергетические характеристики химических кислород-йодных лазеров

Энергетические характеристики химических кислород-йодных лазеров. Зависимости лазерных характеристик от давления. Общие требования к конструкции химического кислород-йодного лазера.

#### 18. Перспективы развития химических йодных лазеров

Применения и перспективы химических йодных лазеров.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Г.Н. Абрамович, «Прикладная газовая динамика», издание пятое, издательство «НАУКА», 1991.
2. Л.Д. Ландау «Механика сплошных сред», Москва, государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954.
3. Дж. Андерсон «Газодинамические лазеры: введение», Москва, издательство «Мир», 1979.

#### Дополнительная литература

1. О.В. Ачасов, Н.Н. Кудрявцев, С.С. Новиков, Р.И. Солоухин, Н.А. Фомин, «Диагностика неравновесных состояний в молекулярных лазерах», Минск, издательство «Наука и техника». 1985.
2. Под редакцией F.Gross, J.F. Bott, «Химические лазеры» Издательство «Мир», Москва, 1980.
3. В.К.Аблеков, Ю.Н.Денисов, В.В.Прошкин, под редакцией академика В.С.Авдуевского «Химические лазеры», Атомиздат, Москва, 1980.
4. I.R. Hurler, A.Hertsberg, Physics of Fluids 8, № 9, 1601 (1965).
5. В.К.Конюхов, А.М.Прохоров Способ получения инверсии заселенности, Авторское свидетельство № 223954, приоритет от 19.11.1966, Бюллетень изобретений № 25 (1968).

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

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://ufn.ru/> «Успехи физических наук» обзоры по актуальным физическим проблемам

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Skype, Zoom

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Использование файлов (в формате pdf), содержащих визуальный материал для лекций в виде презентаций, а также при необходимости специализированных научных реферируемых журналов: российских (УФН, ЖЭТФ, письма в ЖЭТФ, Физика твердого тела и др) и англоязычных (Physical Review Letters, Physical Review A, Physical Review B, Journal of Chemical Physics, International Journal of Quantum Chemistry и др.), доступных через Internet. Для контроля и коррекции знаний обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование, в том числе на портале [www.i-exam.ru](http://www.i-exam.ru).

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и подходы к физике лазеров, знать основные модели и их недостатки и достоинства, применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала (по материалам лекций в виде презентации), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций или контроля.

При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученный материал. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Так как важно добиться понимания изучаемого материала, при затруднении в восприятии материала студентам рекомендуется обращаться за консультациями к преподавателю.

Промежуточный контроль знаний проводится в виде зачета, на котором студенту предлагается письменно ответить на теоретический вопрос, решить одну задачу и ответить на вопросы по теме курса.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |  |
|---|--|
| <b>по направлению:</b>  | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b>  | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза |
| <b>курс:</b>  | 1  |
| <b>квалификация:</b>  | магистр  |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет |  |
| <b>Разработчик:</b>   | Б.А. Выскубенко, канд. физ.-мат. наук  |



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности   |
|   | ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности  |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи  | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|   | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения   | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения   |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий          | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов  |
|   | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия | ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия   |
|   | ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности   |
|   | ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту   |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты       | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|   | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели   |
|   | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты  |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                                   | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)   |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика лазеров» обучающийся должен:

### знать:

- законы сохранения в рамках одномерной газодинамики;
- устройство и характеристики газодинамических лазеров гомогенного и смесового типов;
- устройство и характеристики химических кислород-йодных лазеров;
- иметь представление о соотношениях параметров течения газа и жидкости в рамках одномерной газодинамики;
- иметь представление о кинетике релаксационных процессов;
- иметь представление об экспериментальных установках и методах исследований газодинамических лазеров и химических кислород-йодных лазеров.

### уметь:

- оценивать параметры газовых течений в рамках одномерной газодинамики;
- выбирать параметры для экспериментальных установок;
- проводить экспериментальные измерения;
- излагать результаты экспериментов в виде научно-технического отчета.

### владеть:

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей;
- математическим моделированием физических задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Перечень контрольных тем:

- 1 Тема. Применение законов сохранения для оценки параметров одномерных газовых потоков.
- 2 Тема. Использование газодинамических функций в задачах газодинамики.
- 3 Тема. Оценка параметров течения с наличием скачков уплотнения.
- 4 Тема. Оценка параметров конструкции газодинамических и химических кислород-йодных лазеров.

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

На дифференцированном зачете студенту достается билет, где ему предлагается:

- 1) письменно ответить на теоретический вопрос;
- 2) решить одну задачу;
- 3) ответить на вопросы по теме курса.

Теоретический вопрос выбирается из набора контрольных тем, приведенных в прикрепленном файле. Задача выбирается из списка контрольных задач, приведенных в прикрепленном файле. Некоторые из дополнительных (уточняющих) вопросов приведены в прикрепленном файле.

### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлены один теоретический вопрос, одна задача и один уточняющий вопрос по теме курса. При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.

## **Промежуточная аттестация**

На дифференцированном зачете студенту достается билет, где ему предлагается:

- 1) письменно ответить на теоретический вопрос;
- 2) решить одну задачу;
- 3) ответить на вопросы по теме курса.

Теоретический вопрос выбирается из набора контрольных тем, приведенных ниже. Задача выбирается из списка контрольных задач, приведенных ниже. Некоторые из дополнительных (уточняющих) вопросов приведены ниже.

### **Перечень теоретических вопросов:**

1. Уравнение неразрывности.
2. Принцип действия газодинамического лазера смесового типа и его основные характеристики.
3. Закон сохранения энергии для струйки тока в одномерном течении.
4. Вывод формулы газового расхода для произвольного сечения.
5. Организация смешения газодинамических лазеров смесового типа и их достоинства и недостатки. Энергетические характеристики газодинамических лазеров смесового типа.
6. Газодинамические функции  $\tau$ ,  $\pi$ ,  $\varepsilon$ ,  $q$ , вывод.
7. Принцип действия кислород-йодного лазера и его основные характеристики.
8. Вывод выражения для скорости звука.
9. Принцип действия газодинамического лазера и его энергетические характеристики.
10. Генераторы синглетного кислорода
11. Вывод соотношения Роберта Майера.
12. Требования к системе смешения газовых лазеров смесового типа (газодинамических, химических).
13. Требования к организации потоков газа и жидкости в генераторах синглетного кислорода в химических кислород-йодных лазерах.
14. Доказать, что для достижения сверхзвуковой скорости газового потока без подогрева и совершения над ним работы необходимо сначала сужение, а потом расширение потока.
15. Типы генераторов синглетного кислорода в химических кислород-йодных лазерах и их характеристики.
16. Закон сохранения импульса. Следствие из закона сохранения импульса для течения в трубе постоянного сечения.
17. Способы организации смешения газов в газодинамических и химических газовых лазерах. Преимущества и недостатки.
18. Ударная адиабата. Вывод формулы.
19. Для чего нужен диффузор в газодинамических лазерах? На каком принципе он работает?
20. Вывод уравнения Бернулли.
21. Требования к генераторам синглетного кислорода в химических кислород-йодных лазерах.
22. Принцип действия химических кислород-йодных лазеров. Энергетические характеристики. Преимущества и недостатки по сравнению с лазерами других типов

### Задачи к дифференцированному зачету:

1. Построить положение звуковой волны в момент времени  $t=1,2,3$  сек от ее возникновения для случаев, когда звук распространяется в среде, движущейся со скоростью:

а)  $V=0$ , б)  $V=\frac{D}{2}$ , в)  $V=D$ , г)  $V=2D$ , где  $D$  – скорость звука.

Определить положение огибающей звуковых волн.

2. Звук работы двигателя зарегистрирован через 2,15 сек после пролета самолета над пунктом регистрации. Определить скорость самолета, если высота полета  $H=1$  км.

3. Определить максимальную скорость потока воздуха, при которой еще можно рассматривать воздух как несжимаемую жидкость, если допустимо пренебрегать изменением плотности до 1%. Параметры торможения стандартные на уровне моря.

4. На высоте  $H=11$  км самолет достиг скорости 300 м/сек. С какой скоростью происходит полет: с дозвуковой или сверхзвуковой?

5. До и после изэнтропического сжатия в некотором объеме воздуха произведены измерения скорости звука. Определить на сколько изменилась плотность воздуха, если скорость звука возросла на 3%. Определить изменение плотности воздуха после ударной волны, если скорость звука возросла на те же 3%.

6. В двух полетах на высоте 12 км махметр показывал число  $M$  полета 2.1. В первом случае температура воздуха отличалась от стандартной на  $+15^\circ\text{C}$ , в другом – на  $-15^\circ\text{C}$ . найти разницу истинных воздушных скоростей в полетах.

7. В потоке без ударных волн махметр показывает в одной точке угол Маха  $27,7^\circ$ , в другой –  $35,8^\circ$ . Каково соотношение между статическими давлениями в этих точках?

8. Найти скорость звука, числа  $M$  и  $\lambda$  для струи воздуха, вытекающей из баллона со скоростью, равной половине максимальной теоретической скорости истечения. Температура в баллоне  $127^\circ\text{C}$ .

9. Какую максимальную скорость воздуха можно получить в сверхзвуковой трубе без подогрева, если учесть, что воздух сжимается при  $T=78^\circ\text{K}$ ?

10. Построить зависимость скорости потока на выходе из сужающегося конического сопла от давления в баллоне (начиная от 10 атм абс.), если воздух истекает из баллона в атмосферу и температура воздуха в баллоне –  $300^\circ\text{K}$ .

11. Определить скорость самолета, температуру воздуха за бортом и высоту полета, если термодатчик, установленный на носу самолета показывает температуру  $T_0$ , трубка Пито дает статическое и полное давления, соответственно,  $P_{ст}$  и  $P_0$ .

12. Вывести соотношения для определения скорости сверхзвукового самолета по показаниям датчика Пито. Написать программу (в MATCADe) для определения скорости.

13. Сопло Лавая работает в докритическом режиме. В минимальном сечении сопла  $P_1=0,8$  ата, в среде, куда происходит истечение газа давление  $P_a=1$  ата. Площади минимального и выходного сечений сопла равны  $0,1\text{ м}^2$  и  $0,15\text{ м}^2$ , соответственно. Найти безразмерные скорости в минимальном и выходном сечениях.

14. Истечение воздуха из баллона в атмосферу происходит через сопло Лавая. Температура воздуха в баллоне равна  $27^\circ\text{C}$ , давление равно 0.5 ати. Отношение выходной

площади сопла к минимальной равно 2. Определить скорость потока на выходе из сопла. Трением и другими потерями в сопле пренебречь.

15. Истечение воздуха из баллона в атмосферу происходит через сопло Лаваля. Температура воздуха в баллоне равна  $27^{\circ}\text{C}$ , давление равно 10 ата. Отношение выходной площади сопла к минимальной равно 2. Определить скорость потока и давление в струе на выходе из сопла. Трением и другими потерями в сопле пренебречь.

16. Оценить скорость охлаждения газа в потоке через сопло газодинамического лазера (в град/сек). Температура газа перед соплом  $T_0=2673^{\circ}\text{C}$ . Сопло рассчитано на число Маха  $M=5,9$ . Высота критического сечения сопла  $h_{\text{кр}}=0,3\text{мм}$ . Считать длину сопла равной  $\sim 10h_{\text{кр}}$ .

**Перечень дополнительных (уточняющих) вопросов для сдачи дифференцированного зачета:**

Газодинамика стационарных потоков.

Законы сохранения, термодинамические соотношения параметров газовых потоков, соотношения на скачках уплотнения.

Газодинамические лазеры (ГДЛ).

ГДЛ с заранее перемешанной газовой смесью.

Конструкции исследовательских установок и требования к геометрии сопл.

Удельные энергетические характеристики.

ГДЛ с селективным возбуждением.

Сравнение удельных энергетических характеристик лазеров с различными схемами смешения, применяемыми в экспериментах различных авторов.

Представление о химических кислород-йодных лазерах, их элементах.

Различные типы генераторов синглетного кислорода.

Особенности потока релаксирующего газа.

Сравнение эффективности различных конструкций.

Требования к параметрам лазерных установок.

Обзор истории газодинамических и химических кислород-йодных лазеров.

Современное состояние проблемы, как в России, так и в мире.