

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

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Физические процессы в электрических ракетных двигателях |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра тепловых процессов |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.
семинары: 45 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.С. Ловцов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры тепловых процессов 04.06.2020

Аннотация

Курс "Физические процессы в электрических ракетных двигателях" относится к вариативной части образовательной программы, изучается на 5 курсе.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплины "Общая физика", "Математический анализ", "Физическая механика".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистров, формирование соответствующих компетенций.

В учебной дисциплине рассматриваются основные принципы работы электрических ракетных двигателей, области их применения, основные физические процессы проходящие в электрических ракетных двигателях и современные методы их моделирования.

Студенты изучают принципы работы электрических ракетных двигателей, области их применения, основные физические процессы проходящие в электрических ракетных двигателях и современные методы их моделирования.

К окончанию курса у студентов сформируются базовые знания по современным электрическим ракетным двигателям, основным закономерностям их работы и физическим процессам проходящим при их функционировании, исследовательские навыки и способности применять знания на практике.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

формирование базовых знаний по современным электрическим ракетным двигателям, основным закономерностям их работы и физическим процессам проходящим при их функционировании, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания физических процессов в электрических ракетных двигателях;
- научить студентов работать с электрическими ракетными двигателями на практике, обрабатывать экспериментальные данные и самостоятельно анализировать полученные результаты.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.) |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| 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 |

| | |
|---|--|
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |
|---|--|

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

принципы работы электрических ракетных двигателей, области их применения;
основные физические процессы проходящие в электрических ракетных двигателях и современные методы их моделирования.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

навыками самостоятельной работы;
культурой постановки и моделирования физических задач;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных 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 | Электрические ракетные двигатели. Введение. Общие понятия | 5 | 5 | | 5 |
| 2 | Элементы физики плазмы | 5 | 5 | | 5 |
| 3 | Основы процессов в холловских двигателях | 5 | 5 | | 5 |
| 4 | Основы процессов в ионных двигателях | | 15 | | 15 |
| 5 | Основы процессов в полых катодах | | 15 | | 15 |
| Итого часов | | 15 | 45 | | 45 |
| Подготовка к экзамену | | 30 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 135 час., 3 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Электрические ракетные двигатели. Введение. Общие понятия

Принцип работы ХД. Длина ионизации, распределение потенциалов и потоков частиц. Структура кпд, многозарядные ионы, аномальная проводимость. Влияние материала стенок на процессы в ХД. Колебания плазмы в канале ХД. Ресурс ХД. Основные способы и проблемы моделирования работы ХД.

2. Элементы физики плазмы

Способы генерации плазмы в ИД, газоразрядная камера (ГРК). Основные процессы в ГРК ИД. Создание ускоренного ионного потока в ИД, геометрия ионно-оптической системы ИД и принципы ее построения. Расчет основных параметров ИД. Ресурс ИД.

3. Основы процессов в холловских двигателях

Основные требования, предъявляемые к катодам ЭРД. Полый катод, принцип работы и основные физические процессы.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Основы процессов в ионных двигателях

Понятия тяги, удельного импульса тяги, КПД, суммарного импульса. Оптимальный удельный импульс тяги. Основные разновидности ЭРД. Области применения ЭРД. Сравнительная характеристика с другими типами двигателей.

5. Основы процессов в полых катодах

Квазинейтральность, Радиус Дебая. Критерий идеальности. Упругие столкновения. Ионизация. Движение заряженных частиц во внешних электромагнитных полях. Магнитные ловушки. Описание плазмы на основе кинетического уравнения Больцмана. Функция распределения частиц по скоростям. Основные уравнения гидродинамического описания плазмы. Одножидкостная и двухжидкостная модели плазмы. Обобщенный закон Ома. Физика вакуумного диода, закон Чайлда-Ленгмюра, двойной ленгмюровский слой. Слой в бесстолкновительной плазме, критерий Бома. Слой в столкновительной плазме.

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. Горшков О.А., Муравлев В.А., Шагайда А.А. Холловские и ионные двигатели для космических аппаратов. Москва. Машиностроение. 2008.
2. Goebel D.M. and Katz I. Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters. JPL space science and technology series. 2008.

Дополнительная литература

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Москва. Интеллект. 2009.
2. Форрестер А.Т. Интенсивные ионные пучки. Москва. Мир. 1991.

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

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

программное обеспечение: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

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

Успешное освоение курса требует самостоятельной работы студента. В программе курса много времени отведено для работы студента с измерительными приборами.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях,
- подготовку к зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате контрольных вопросов и бесед с преподавателем во время проведения лекций, которые проводятся в интерактивной форме.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|----------------------------|---|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра тепловых процессов |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: А.С. Ловцов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.) |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| 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 |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические процессы в электрических ракетных двигателях» обучающийся должен:

знать:

принципы работы электрических ракетных двигателей, области их применения;
основные физические процессы проходящие в электрических ракетных двигателях и современные методы их моделирования.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

навыками самостоятельной работы;
культурой постановки и моделирования физических задач;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

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

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или устного опроса по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

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

Аттестация по дисциплине «Физические процессы в электрических ракетных двигателях» осуществляется в форме зачета и экзамена (устной форме).

Примерный перечень вопросов к зачету 9 семестре:

1. Основные характеристики электроракетного двигателя, понятие оптимального удельного импульса тяги.
2. Основные разновидности ЭРД. Области применения ЭРД. Сравнительная характеристика с другими типами двигателей.
3. Принцип работы холловского двигателя.
4. Принцип работы ионного двигателя. Способы генерации плазмы в ионных двигателях.
5. Движение заряженных частиц во внешних электромагнитных полях. Основные типы дрейфа.

Примеры экзаменационных билетов к экзамену во 10 семестре:

Билет № 1

1. Основные характеристики электроракетного двигателя. Структура кпд холловского двигателя.
2. Движение заряженных частиц во внешних электромагнитных полях. Основные типы дрейфа.

Билет № 2

1. Области применения ЭРД. Понятие оптимального удельного импульса.
2. Магнитная ловушка.

Билет № 3

1. Основные типы ЭРД. Их преимущества и недостатки
2. Квазинейтральность, радиус Дебая, критерий идеальности плазмы.

Билет № 4

1. Принцип действия холловского двигателя.
2. Закон Чайлда-Ленгмюра.

Билет № 5

1. Принцип действия ионного двигателя.
2. Основные способы описания плазмы.

Билет № 6

1. Принцип действия полого катода.
2. Распыление материалов под воздействием ионного потока. Основные закономерности.

Билет № 7

1. Типы газоразрядных камер в ионном двигателе.
2. Оптический способ диагностики ресурса холловских двигателей.

Билет № 8

1. Проблема ресурса ионного двигателя (различные типы эрозии и их механизмы).
2. Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дэшмана.

Критерии оценивания

"Зачтено" – студент знает основные определения и уравнения, способен решить заданную ему задачу по темам пройденных лекций.

"Не зачтено" - студент не может рассказать основные определения, теоремы и методы расчета конструкций, рассмотренных в течение пройденных лекций.

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если студент показал систематизированные знания учебной программы, уверенное и обоснованное их применение к решению поставленных задач, понимание физических основ расчетных методик, а также их области применимости, умение написать математические уравнения, описывающие предложенную конструкцию или физический процесс, с корректно поставленными граничными условиями.

Оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если студент показал систематизированные знания учебной программы, уверенное и обоснованное их применение к решению поставленных задач, понимание физических основ расчетных методик, а также их области применимости, умение подобрать математические уравнения, приближенно описывающие конструкцию или физический процесс.

Оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если студент показал систематизированные знания учебной программы, уверенное и обоснованное их применение к решению поставленных задач, понимание физических основ расчетных методик, а также их области применимости.

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если студент показал знания учебной программы, их применение к решению поставленных задач, понимание физических основ расчетных методик, а также их области применимости, выводит основные математические соотношения, приведенные в курсе дисциплины, но при ответе на вопросы или решении задач допускает неточности.

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если студент показал знания учебной программы, их применение к решению поставленных задач, а также их области применимости, но при ответе на вопросы или решении задач допускает неточности.

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если студент показал знания учебной программы, их применение к решению поставленных задач, а также их области применимости, но при ответе на вопросы или решении задач допускает неточности, не выводит основные математические соотношения, приведенные в курсе дисциплины.

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если студентом показаны навыки применения расчетных методик для решения задач, способность дать основные определения, приведенные в курсе дисциплины, но отсутствует понимание физических основ данных методик, их области применимости.

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если студентом показаны навыки применения расчетных методик для оценки по порядку величины физических параметров, способность дать основные определения, приведенные в курсе дисциплины, но отсутствует понимание физических основ данных методик, их области применимости.

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если показана неспособность оценить по порядку какие-либо физические параметры, отсутствует понимание физических основ рассматриваемых процессов, незнание основных определений.

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

При проведении устного зачета обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном зачете не может превышать 1,5 астрономических часа.

При подготовке к ответу на билет обучающийся может пользоваться программой дисциплины, а также бумажной литературой и конспектом лекций.

При ответе на билет обучающийся может пользоваться только записями, сделанными во время подготовки.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не может превышать 1,5 астрономических часа.

При подготовке к ответу на билет обучающийся может пользоваться программой дисциплины, а также бумажной литературой и конспектом лекций.

При ответе на билет обучающийся может пользоваться только записями, сделанными во время подготовки.