

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

Утверждена
Ученым советом
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
протокол № 14-22 от «10» ноября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ:

«Кинематика и динамика»

Научная специальность:

1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин»

Форма обучения

очная

Москва, 2022

Научная специальность:

1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин»

Дисциплина: «Кинематика и динамика»

Форма обучения: очная

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА

Ученым советом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,

протокол № 14/22 от «10» ноября 2022 г.

ИСПОЛНИТЕЛЬ (разработчик программ):

Тучин А.Г., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.н.с., д.ф.-м.н.

Заведующий аспирантурой _____ / Меньшов И.С. /

Оглавление

АННОТАЦИЯ	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	5
3.1. Структура дисциплины	5
3.2. Содержание разделов дисциплины	6
3.3. Лекционные занятия	7
3.4. Семинарские занятия.....	7
4. ТЕКУЩАЯ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ И ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....	8
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	10
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	10

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа дисциплины «Кинематика и динамика» разработана и составлена на основании ФГТ - «Федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)» (Приказ Минобрнауки № 951 от 20.10.2021г.), в соответствии с учебными планами подготовки аспирантов ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) по научным специальностям: 1.1.7 - «Теоретическая механика, динамика машин».

Дисциплина «Кинематика и динамика» реализуется в рамках Блока «Образовательный компонент программы подготовки научных и научно - педагогических кадров в аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: учебные издания, монографии, научные публикации, Интернет-ресурсы.

Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану составляет 2 ЗЕТ (72 часа), из них лекций – 4 часа, семинарских занятий – 10 часов, практических занятий – 0 часов и самостоятельной работы – 58 часов. Дисциплина реализуется на 1-м курсе, в 1-м семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая и промежуточная аттестация проводится не менее двух раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой.

Итоговая оценка знания осуществляется в период зачётно-экзаменационной сессии в форме зачёта.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения учебной дисциплины «Кинематика и динамика»:

- освоение теоретического материала дисциплины: определения, теоремы и их доказательства;
- формирование профессиональных компетенций, связанных с использованием методов и алгоритмов, изученных в рамках дисциплины, для решения прикладных задач.

Задачи освоения учебной дисциплины «Кинематика и динамика»:

- изучение методики описания кинематики материальной точки и твёрдого тела;
- изучение методики анализа динамики материальной точки и твёрдого тела;
- изучение лагранжевой механики;
- применение изученных методов и алгоритмов для решения задач, связанных с кинематикой и динамикой механических систем.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Кинематика и динамика» направлен на формирование определенных знаний, умений и компетенций.

а) универсальные (УК): не предусмотрено

б) общепрофессиональные (ОПК):

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

в) профессиональные (ПК):

- способность разрабатывать и исследовать теоретико-механические модели материальных систем (ПК-1);
- способность самостоятельно разрабатывать и исследовать математические модели механики

робототехнических и мехатронных систем (ПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Иметь представление:

- об основных подходах к изучению кинематики и динамики механических систем;

Знать:

- способы задания ориентации твёрдого тела;
- основные теоремы динамики твёрдого тела;
- определения и теоремы, связанные с геометрией масс системы материальных точек;
- уравнения лагранжевой механики: уравнения Аппеля, уравнения Рауса;

Уметь:

- вычислять положение, скорость и ускорение материальной точки в различных системах координат;
- совершать переход от одного описания ориентации твёрдого тела к другому описанию;
- вычислять кинетический момент и кинетическую энергию системы материальных точек;

Владеть:

- методикой описания сложного движения материальной точки;
- алгоритмами вычисления параметров движения материальной точки в центральном поле сил;
- методикой составления уравнений Лагранжа;

Приобрести опыт:

- исследования кинематики и динамики механических систем.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Структура дисциплины

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	ЗЕТ	час.
Общая трудоёмкость по учебному плану	2	72
Лекции (Л)		4
Практические занятия (ПЗ)		0
Семинары (С)		10
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины		58
Вид контроля: зачёт		

3.2. Содержание разделов дисциплины

Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Форма текущей аттестации
1.	Кинематика точки	Скорость и ускорение точки в декартовых и полярных координатах. Скорость и ускорение точки в осях естественного трёхгранника. Сложное движение точки. Относительная и переносная скорость. Теорема сложения скоростей. Относительное, переносное и кориолисово ускорения. Теорема сложения ускорений.	О, ДЗ
2.	Кинематика твёрдого тела	Кинематика твёрдого тела. Поступательное движение твёрдого тела. Вращательное движение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Плоскопараллельное движение твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Произвольное движение твёрдого тела. Способы задания ориентации твёрдого тела: углы Эйлера, параметры Родрига-Гамильтона, параметры Кэли-Клейна, кватернионы.	О, ДЗ

3.	Динамика точки	Теоремы динамики точки: теорема об изменении импульса, теорема об изменении кинетического момента, теорема об изменении кинетической энергии. Движение точки в центральном поле сил. Задача двух тел. Формулы Бине. Законы Кеплера. Движение планеты спутников. Движение несвободной точки, на положение и скорость которой наложены ограничения. Аксиома освобождения от связей. Движение точки в неинерциальной системе отчёта (относительное движение точки). Движение точки у поверхности Земли. Маятник Фуко. Движение точки при наличии трения.	О, ДЗ
4.	Динамика твёрдого тела	Критерий эквивалентности системы сил, приложенной к твёрдому телу. Теорема Вариньона. Приведение произвольной системы сил к динамическому винту. Геометрия масс системы материальных точек. Центр масс. Моменты инерции. Эллипсоид инерции. Теорема об изменении импульса системы материальных точек. Кинетический момент и кинетическая энергия системы материальных точек. Формулы Кёнига. Теорема об изменении кинетического момента системы. Теорема об изменении кинетической энергии системы. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера. Интегрирование уравнений Эйлера для нулевого момента внешних сил относительно неподвижной точки (случай Эйлера). Основная формула гироскопии.	О, ДЗ
5.	Лагранжева механика	Принцип Даламбера-Лагранжа. Конфигурационное многообразие системы с конечным числом степеней свободы. Обобщённые координаты. Виртуальные перемещения. Голономные и неголономные системы. Уравнения Лагранжа. Уравнения Лагранжа с множителями. Уравнения Аппеля. Уравнения Рауса для систем с циклическими координатами. Первые интегралы уравнений Лагранжа.	О , Д З

Примечание: О – опрос, Д – дискуссия (диспут, круглый стол, мозговой штурм, ролевая игра), ДЗ – домашнее задание (эссе и пр.). Формы контроля не являются жёсткими и могут быть заменены преподавателем на другую форму контроля.

3.3. Лекционные занятия

№ занятия	№ раздела (темы)	Краткое содержание раздела (темы)	Кол-во часов
1.	1	Скорость и ускорение точки в декартовых и полярных координатах. Скорость и ускорение точки в осях естественного трёхгранника. Сложное движение точки. Относительная и переносная скорость. Теорема сложения скоростей. Относительное, переносное и кориолисово ускорения. Теорема сложения ускорений.	2
1.	1	Скорость и ускорение точки в декартовых и полярных координатах. Скорость и ускорение точки в осях естественного трёхгранника. Сложное движение точки. Относительная и переносная скорость. Теорема сложения скоростей. Относительное, переносное и кориолисово ускорения. Теорема сложения ускорений.	2
2.	3	Теоремы динамики точки: теорема об изменении импульса, теорема об изменении кинетического момента, теорема об изменении кинетической энергии. Движение точки в центральном поле сил. Задача двух тел. Формулы Бине. Законы Кеплера. Движение планет и спутников.	2
	ВСЕГО		4

3.4. Семинарские занятия

№ занятия	№ Раздела (темы)	Краткое содержание раздела (темы)	Кол-во часов
1.	2	Кинематика твёрдого тела. Поступательное движение твёрдого тела. Вращательное движение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Плоскопараллельное движение твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Произвольное движение твёрдого тела. Способы задания ориентации твёрдого тела: углы Эйлера, параметры Родрига-Гамильтона, параметры Кэли-Клейна, кватернионы.	2

2.	3	Движение несвободной точки, на положение и скорость которой наложены ограничения. Аксиома освобождения от связей. Движение точки в неинерциальной системе отчёта (относительное движение точки). Движение точки у поверхности Земли. Маятник Фуко. Движение точки при наличии трения.	2
3.	4	Критерий эквивалентности системы сил, приложенной к твёрдому телу. Теорема Вариньона. Приведение произвольной системы сил к динамическому винту. Геометрия масс системы материальных точек. Центр масс. Моменты инерции. Эллипсоид инерции. Теорема об изменении импульса системы материальных точек. Кинетический момент и кинетическая энергия системы материальных точек. Формулы Кёнига. Теорема об изменении кинетического момента системы. Теорема об изменении кинетической энергии системы. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси.	2
4.	4	Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера. Интегрирование уравнений Эйлера для нулевого момента внешних сил относительно неподвижной точки (случай Эйлера). Основная формула гироскопии.	2
5.	5	Принцип Даламбера-Лагранжа. Конфигурационное многообразие системы с конечным числом степеней свободы. Обобщённые координаты. Виртуальные перемещения. Голономные и неголономные системы. Уравнения Лагранжа. Уравнения Лагранжа с множителями. Уравнения Аппеля. Уравнения Рауса для систем с циклическими координатами. Первые интегралы уравнений Лагранжа.	2
	ВСЕГО		10

4. ТЕКУЩАЯ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ И ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Текущая и промежуточная аттестация аспирантов. Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины см. ниже.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина: активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимым в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по четырёхбалльной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

Оценочные средства для текущей и промежуточной аттестации

Форма контроля знаний	Вид аттестации	Примечание
Опрос слушателей	текущая	Опрос по темам предыдущего занятия
Домашние задания	промежуточная	Подготовка рефератов

Примерные темы рефератов для **промежуточной аттестации:**

1. Скорость и ускорение точки в декартовых и полярных координатах.
2. Скорость и ускорение точки в осях естественного трёхгранника.
3. Сложное движение точки.
4. Относительная и переносная скорость.
5. Теорема сложения скоростей.

6. Относительное, переносное и кориолисово ускорения.
7. Теорема сложения ускорений.
8. Теорема об изменении импульса.
9. Теорема об изменении кинетического момента.
10. Теорема об изменении кинетической энергии.
11. Движение точки в центральном поле сил.
12. Задача двух тел.
13. Формулы Бине.
14. Законы Кеплера.
15. Движение планет и спутников.

Итоговая аттестация аспирантов. Итоговая аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальным актом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Итоговая аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачёта в период зачётно-экзаменационной сессии в соответствии с графиком учебного процесса. Обучающийся допускается к зачёту в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на итоговой аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на зачёте – зачёт, незачёт.

Оценивание аспиранта на итоговой аттестации в форме зачёта

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
Незачёт	<ul style="list-style-type: none"> – Основное содержание учебного материала не раскрыто; – допущены грубые ошибки в определении понятий и при использовании терминологии; – не даны ответы на дополнительные вопросы.
Зачёт	<ul style="list-style-type: none"> – Раскрыто содержание материала, даны корректные определения понятий; – допускаются незначительные нарушения последовательности изложения; – допускаются небольшие неточности при использовании терминов или в логических выводах; – при неточностях задаются дополнительные вопросы.

Ниже приведён примерный вопросник для **итогового зачёта**.

1. Скорость и ускорение точки в декартовых и полярных координатах.
2. Скорость и ускорение точки в осях естественного трёхгранника.
3. Сложное движение точки. Относительная и переносная скорость. Теорема сложения скоростей. Относительное, переносное и кориолисово ускорения. Теорема сложения ускорений.
4. Кинематика твёрдого тела. Поступательное движение твёрдого тела. Вращательное движение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Плоскопараллельное движение твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Произвольное движение твёрдого тела.
5. Способы задания ориентации твёрдого тела: углы Эйлера, параметры Родрига-Гамильтона, параметры Кэли-Клейна, кватернионы.
6. Теоремы динамики точки: теорема об изменении импульса, теорема об изменении кинетического момента, теорема об изменении кинетической энергии.
7. Движение точки в центральном поле сил. Задача двух тел. Формулы Бине. Законы Кеплера. Движение планет и спутников.
8. Движение несвободной точки, на положение и скорость которой наложены ограничения. Аксиома освобождения от связей.
9. Движение точки в неинерциальной системе отчёта (относительное движение точки).
10. Движение точки у поверхности Земли. Маятник Фуко.

11. Движение точки при наличии трения.
12. Критерий эквивалентности системы сил, приложенной к твёрдому телу. Теорема Вариньона. Приведение произвольной системы сил к динамическому винту.
13. Геометрия масс системы материальных точек. Центр масс. Моменты инерции. Эллипсоид инерции.
14. Теорема об изменении импульса системы материальных точек.
15. Кинетический момент и кинетическая энергия системы материальных точек. Формулы Кёнига. Теорема об изменении кинетического момента системы. Теорема об изменении кинетической энергии системы.
16. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси.
17. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера. Интегрирование уравнений Эйлера для нулевого момента внешних сил относительно неподвижной точки (случай Эйлера).
18. Основная формула гироскопии.
19. Принцип Даламбера-Лагранжа.
20. Конфигурационное многообразие системы с конечным числом степеней свободы. Обобщённые координаты. Виртуальные перемещения.
21. Голономные и неголономные системы.
22. Уравнения Лагранжа. Уравнения Лагранжа с множителями.
23. Уравнения Аппеля.
24. Уравнения Рауса для систем с циклическими координатами.
25. Первые интегралы уравнений Лагранжа.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 719 с.
2. Журавлев. В.Ф. Основы теоретической механики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 304 с.

Дополнительная литература и Интернет-ресурсы

1. Барбашова Т.Ф., Кугушев Е.И., Попова Т.В. Теоретическая механика в задачах. Кинематика. Общие теоремы динамики. – М.: МЦНМО, 2015. – 344 с.
2. Барбашова Т.Ф., Кугушев Е.И., Попова Т.В. Теоретическая механика в задачах. Лагранжева механика. Гамильтонова механика. – М.: МЦНМО, 2013. – 392 с.
3. Болотин С.В., Карапетян А.В., Кугушев Е.И., Трещев Д.В. Теоретическая механика. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 432 с.
4. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задаче ориентации твёрдого тела. – М.: Наука, 1973. – 320 с.
5. Голубев Ю.Ф. Алгебра кватернионов в кинематике твёрдого тела // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 39. 23 с. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-39>
6. Маркеев А.П. Теоретическая механика. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с.
7. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твёрдого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 512 с.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для чтения лекций и проведения семинаров требуется мультимедийная аудитория с проектором. Желательно наличие интерактивной доски.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

Тучин А.Г., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.н.с., д.ф.-м.н.