

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Небесная механика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ (контрольная работа включает в себя задачи), опросы по лекционному материалу, решений практических заданий по теме «Задача двух тел» и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Примеры теоретических вопросов к тестам

1. Основная задача небесной механики.
2. Постановка задачи двух тел
3. Уравнения относительного движения.
4. Первые интегралы невозмущенного кеплеровского движения.
5. Плоскость Лапласа
6. Что представляет собой орбита в задаче двух тел.
7. Что такое ось апсид, перицентр, апоцентр, истинная аномалия
8. Как вводится прямоугольная орбитальная система
9. Как вводится полярная орбитальная система
10. Кеплеровы элементы: угловое расстояние перицентра от узла, долгота восходящего узла, наклонение.
11. Аргумент широты
12. Круговая, параболическая, эллиптическая и гиперболическая начальные скорости
13. Уравнение траектории в полярных координатах орбитальной системы координат
14. Уравнение Кеплера.
15. Сформулировать обобщенные законы Кеплера.
16. Когда задача называется невозмущенной и кеплеровой?
17. Среднее движение, средняя аномалия, эксцентрическая аномалия
18. Основная задача n-тел
19. Интегрируемость задачи n-тел
20. Классические интегралы задачи n-тел (количество, названия)

21. Абсолютная система координат
22. Свойства силовой функции
23. Барицентрическая система координат
24. Планетная форма уравнений движения. Возмущающая функция
25. Уравнения Лагранжа 2 рода
26. Система координат Якоби
27. Общий вид уравнений в возмущенной задаче.
28. Основная идея метода Лагранжа
29. Математический смысл метода Лагранжа
30. Геометрический смысл метода Лагранжа
31. Динамический смысл метода Лагранжа
32. Что представляет собой истинная орбита и истинное движение в методе Лагранжа
33. Основная операция

Пример практического задания:

Задание: Для случая гиперболической орбиты получить выражения для координат и скоростей через величину F .

1. Найти зависимость $r=f(F)$
2. Найти зависимость $\cos v=f(F)$, $\sin v=f(F)$
3. Найти зависимость для $\xi=\xi(F)$, $\eta=\eta(F)$ и их производных по времени.
4. Написать последовательность решения задачи (переход от кеплеровых элементов к координатам и скоростям) в случае гиперболической орбиты.
5. По заданным значениям кеплеровых элементов найти значения декартовых координат на заданный момент времени

Практические задания оцениваются на «зачтено» и «не зачтено»

Таблица 1. Критерии оценивания практической работы

зачтено	- Получены верные результаты расчетов - Оформлен отчет по работе - Написан программный код для решения поставленной задачи
Не зачтено	- Получены не верные результаты расчетов - Не оформлен отчет по работе - нет программного кода

Примеры задач из контрольной работы .:

1. Эксцентриситет орбиты ракеты составляет 0.450, а ее большая полуось – 3.8 а.е. Найдите постоянную площадей движения ракеты вокруг Солнца.
2. Космический зонд на геоцентрическом расстоянии 8000 км имел скорость 2.31 км/с. Какую скорость имел зонд на расстоянии 630 км от поверхности Земли? $K_3 = 398.60 \times 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$. Радиус Земли 6371 км.
3. Американская космическая ракета «Пионер-5», запущенная в сторону Луны 11 марта 1960 г. и ставшая искусственной планетой, имела период обращения вокруг Солнца 312 суток. Гелиоцентрическое расстояние перигелия орбиты ракеты равно $120 \cdot 10^6 \text{ км}$. Вычислите гелиоцентрическое расстояние ракеты в афелии.

Критерии оценивания: Контрольная работа оценивается на «зачтено» и «не зачтено». «Зачтено» ставится при правильном решении всех задач.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен в шестом семестре проводится в устной форме по билетам. Студент допускается к экзамену, если он выполнил все практические задания. Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов по темам лекций. На экзамене проверяются результаты освоения дисциплины по индикаторам ИОПК 2.2. Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Примеры экзаменационных вопросов в билетах

1. Основная задача небесной механики. Закон притяжения Ньютона, силовая функция взаимного притяжения системы материальных точек, свойства силовой функции.
2. Дифференциальные уравнения движения в абсолютных осях в задаче двух тел
3. Уравнения относительного движения в задаче двух тел
4. Невозмущенное кеплеровское движение: интегралы площадей
5. Невозмущенное кеплеровское движение: интеграл энергии
6. Невозмущенное кеплеровское движение: интегралы Лапласа, вектор Лапласа, определение типа орбиты по величине вектора Лапласа, плоскость Лапласа
7. Невозмущенное кеплеровское движение: уравнение орбиты.
8. Невозмущенное кеплеровское движение: уравнение орбиты в прямоугольных орбитальных координатах.
9. Невозмущенное кеплеровское движение: уравнение орбиты в полярных координатах.
10. Невозмущенное кеплеровское движение: кеплеровские элементы невозмущенного движения
11. Невозмущенное эллиптическое движение: выражение прямоугольных координат и компонент скорости через кеплеровские элементы орбиты.
12. Невозмущенное кеплеровское движение: обобщенные законы Кеплера
13. Исследование невозмущенного кеплеровского движения: основные типы кеплеровского движения (как характеризуется по величине эксцентриситета, вектора Лапласа, постоянной интеграла энергии, величины начальной скорости).
14. Невозмущенное кеплеровское движение: зависимость формы и размеров орбиты от величины и направления начальной скорости.
15. Исследование невозмущенного кеплеровского движения: эллиптическое движение, кеплеровские элементы орбиты, уравнение Кеплера.
16. Невозмущенное кеплеровское движение: кеплеровские элементы орбиты: истинная, эксцентрическая и средняя аномалии, их геометрический смысл.
17. Исследование невозмущенного кеплеровского движения: гиперболическое движение
18. Исследование невозмущенного кеплеровского движения: параболическое движение
19. Разложение координат невозмущенного эллиптического движения в ряды Фурье.
20. Задача n тел: постановка задачи, дифференциальные уравнения движения в абсолютных координатах, интегрируемость задачи n тел.
21. Задача n тел: силовая функция и ее свойства
22. Задача n тел: интегралы площадей дифференциальных уравнений в абсолютных координатах
23. Задача n тел: интегралы центра масс и интеграл энергии дифференциальных уравнений в абсолютных координатах.
24. Задача n тел. Дифференциальные уравнения относительного движения: уравнения в барицентрической системе координат.

25. Задача n тел. Дифференциальные уравнения относительного движения: планетная форма уравнений.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» ставится при правильном ответе не менее чем на 90% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «хорошо» ставится при правильном ответе не менее чем на 75% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «удовлетворительно» ставится при правильном ответе не менее чем на 60% вопросов билета и дополнительных вопросов. Оценка «неудовлетворительно» ставится при правильном ответе менее чем на 60% вопросов билета и дополнительных вопросов.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Вопросы (проверяет ИОПК 2.2):

1. Основная задача небесной механики
2. Что такое ось апсид?
3. Что такое ось перицентр, апоцентр?
4. Как задается истинная аномалия?
5. Перечислите первые интегралы невозмущенного кеплеровского движения. Сколько интегралов являются независимыми
6. Что представляет собой орбита точки в задаче двух тел.
7. Записать уравнение Кеплера
8. Перечислить кеплеровы элементы
9. Классические интегралы задачи n -тел
10. Основная идея метода Лагранжа
11. Геометрический смысл метода Лагранжа
12. Что представляет собой истинная орбита и истинное движение в методе Лагранжа

Ключи: 1. Основная задача небесной механики – изучение движения материальной системы, состоящей из конечного числа свободных материальных точек, обладающих постоянными массами и движущихся в абсолютно пустом пространстве под действием сил взаимного притяжения, определяемых законом всемирного тяготения.

2. Главная (фокальная) ось орбиты называется в астрономии осью апсид.

3. Точки пересечения оси апсид с орбитой называются **апсидами**. Апсиды совпадают с вершинами кривой второго порядка и имеют каждая свое название: апсида, ближайшая к центру силы называется перицентром, а наиболее удаленная – апоцентром (у параболы и гиперболы апоцентр не рассматривается)

4. Угол, образуемый радиус-вектором с направлением на перицентр орбиты.

5 Три интеграла площадей или моментов количества движения, три интеграла Лапласа, один интеграл энергии. 5

6. Плоская кривая второго порядка: окружность, эллипс, парабола, гипербола или в вырожденном случае пара прямых

7. $E - e \sin E = M$

8. Шесть элементов орбиты, определяющих положение небесного тела в пространстве в задаче двух тел: большая полуось, эксцентриситет, наклонение, долгота восходящего узла, аргумент перицентра, средняя аномалия.

9. Шесть интегралов движения центра масс, три интеграла площадей или моментов количества движения, один интеграл энергии

10. Решение уравнений возмущенного движения определяется теми же формулами, что и решение уравнений невозмущенного движения, но кеплеровы элементы в этих формулах рассматриваются не как постоянные, а как некоторые функции времени, определяемые так, чтобы уравнения возмущенного движения строго удовлетворялись

11. Движение рассматривается как постоянно и непрерывно изменяющееся кеплеровское движение, а истинная орбита как постоянно и непрерывно изменяющаяся оскулирующая орбита.

12. траектория возмущенного движения есть огибающая семейства траекторий невозмущенных движений.

Задачи (проверяет ИОПК 2.2):

1. Перигелийное и афелийное расстояние орбиты кометы соответственно равны 2,4 а.е. и 23,5 а.е. Определите размер и форму орбиты кометы относительно Солнца.

Ответ Форма орбиты эллипс, $e = 0.814$, $a = 12.95$.

2. Эксцентриситет орбиты ракеты составляет 0.450, а ее большая полуось – 3.8 а.е. Найдите постоянную площадей движения ракеты вокруг Солнца.

Ответ $c = 0.004235$

3. Большая полуось орбиты кометы равна 5.5 а.е., а ее эксцентриситет 0.86. Как близко комета подходит к Солнцу и какую при этом имеет гелиоцентрическую скорость?

Ответ $r = 0.77$ а.е., $v = 0.0026$ а.е./сут

4. Малая планета Икар движется по орбите с эксцентриситетом 0.826 и большой полуосью 1.078 а.е. Сколько времени занимает движение Икара от перигелия до афелия его орбиты и как близко подходит к Солнцу.

Ответ $r = 0.0187$ а.е., $T = 204.40$ сут

Задачи (проверяет ИПК 1.1)

По данным выборки из каталога Боуэлла проанализировать количество объектов, двигающихся по эллиптическим, параболическим и гиперболическим орбитам. Определить периоды обращения некоторых объектов.

Ключ. Анализ орбит проводится согласно значению эксцентриситета. Период находится по формуле $T = \frac{2\pi}{n}$, $n = \sqrt{\mu/a^3}$.

Информация о разработчиках

Сюсина Ольга Михайловна, к ф.-м. н., доцент кафедры АиКТ ФФ ТГУ