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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Динамика космического полёта

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

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

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавриат

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

Элементы текущего контроля:
– контроль посещаемости,
– контрольные работы (ИОПК 2.2),
– доклады студентов (ИПК-1.1),
– практические и домашние задания (ИОПК 2.2, ИПК-1.1).

Примеры вопросов из контрольных работ:

1. Что такое инерциальная система координат.
2. Как задается небесная инерциальная система координат.
3. В каких движениях участвует земная ось.
4. С чем связано движение полюса эклиптики.
5. Как задается переход от прямоугольных координат, отнесенных к средней небесной системе эпохи каталога T к прямоугольным координатам эпохи наблюдений t .
6. Как реализуются системы небесных координат в фундаментальных каталогах FK5 и FK6.
7. Что такое международная небесная система отсчета ICRF.
8. Как задаются земные геоцентрические системы координат.
9. Как вычислялось международное условное начало (МУН) и как оно реально задается.
10. Определите геоцентрическую земную систему координат.
11. Что такое международная земная система отсчета ITRF.
12. Запишите связь между истинной небесной системой и общеземной системой.
13. Что такое кеплеровское движение и кеплеровские элементы? Каков геометрический смысл кеплеровских элементов?
14. Что представляет собой траектория невозмущенного кеплеровского движения?
15. В чем суть метода вариации произвольных постоянных?
16. Что такое оскулирующая орбита? Каков ее динамический и геометрический смысл?
17. Какие методы приближенного интегрирования уравнений возмущенного движения вы знаете?
18. В связи с чем возникает необходимость представлять потенциал притяжения Земли в виде ряда?

19. Какой ряд используется для представления потенциала притяжения Земли и почему?
20. Дайте определение полиномов Лежандра и присоединенных фукнций.
21. Какие свойства полиномов Лежандра и присоединенных фукнций делают их удобным вычислительным аппаратом.
22. Как и с какой целью в разложение гравитационного потенциала вводятся коэффициенты J_n, $C_{n,m}$, $S_{n,m}$, являющиеся безразмерными величинами.
23. Что такое стандартные Земли

Пример практических и домашних заданий

1. Классифицируйте приведенные в таблице объекты по эксцентриситету.
2. Классифицируйте приведенные в таблице объекты по наклонению.
3. Классифицируйте приведенные в таблице объекты по высоте

4. Вычислите периоды обращения спутников, приведенных в таблице, вокруг Земли и выделите те из них, которые движутся в резонансе с вращением Земли. (Это означает, что отношение периода суточного вращения Земли и периода обращения спутника можно представить, как $p\backslash q$, где p и q –целые числа. Запишите эти резонансные соотношения.)

№	Большая полуось, км	Эксцентри-ситет	Наклонение градусы	№	Большая полуось, км	Эксцентри-ситет	Наклонение градусы
1	7000	0,001	60,0	6	42165	0,001	9,0
2	12796	0,02	30,0	7	42000	0,001	0,0
3	16733	0.001	120,0	8	66933	0,01	90,0
4	26562	0,001	55,0	9	123291	0,75	60,0
5	27000	0,75	60,0	10	154294	0,1	5,0

$n = \sqrt{\mu_T / a^3}$, а также $n = 2\pi / T$, $\mu_T = 3.968\ 10^{14}\ м^3 с^{-2}$

Здесь n есть среднее движение спутника, μ_T – гравитационная постоянная Земли (произведение универсальной гравитационной постоянной на массу Земли), а T–период обращения спутника по орбите. При вычислении обращайте внимание на размерности величин.

5. Проанализируйте информацию из сети интернет и приведите примеры спутников, которые движутся в резонансе с вращением Земли

Доклады:

Доклад – это продукт самостоятельной или групповой работы студента (студентов), представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов, демонстрирующий способность студента осуществлять сбор и обработку научно-технической информации, умение работать с различными видами информации, умение формулировать результаты в виде обзоров с выводами.

Примерные темы докладов:

1. Численное моделирование больших систем ИСЗ.
2. Распределение объектов космического мусора в околоземном пространстве.
3. Особенности орбитальной эволюции неуправляемых объектов в зоне ГЕО.
4. Орбитальной эволюции отработавших КА информационных спутниковых систем. ГЛОНАСС и GPS.

Критерии оценивания:

Оценка текущей успеваемости определяется как среднее арифметическое из оценки учебной деятельности студента.

Оценивание текущей успеваемости

Оценка	Критерий оценивания
отлично	среднее арифметическое 4.7-5
хорошо	среднее арифметическое 3.7-4.6
удовлетворительно	среднее арифметическое 3-3.6
неудовлетварительно	среднее арифметическое <3

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

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей (одного теоретического вопроса и практического задания). Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Билеты составлены таким образом, чтобы проверить освоение обучающимся дисциплины по индикаторам: ИОПК 2.2; ИПК 1.1.

Каждая выполняемая часть экзаменационного билета оценивается по системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»

Оценка промежуточной аттестации определяется как среднее арифметическое из оценок за выполнение заданий билета и оценки текущей успеваемости в соответствии с таблицей, приведенной ниже, при условии, что все оценки не ниже «удовлетворительно». В случае, если одна из оценок «неудовлетворительно», общая оценка не может быть выше «удовлетворительно».

Оценивание промежуточной аттестации

Оценка	Критерий оценивания
отлично	среднее арифметическое 4.7-5
хорошо	среднее арифметическое 3.7-4.6
удовлетворительно	среднее арифметическое 3-3.6 и/или одна из оценок на экзамене и итоговая за текущий контроль - «неудовлетворительно»
неудовлетворительно	среднее арифметическое <3, (от двух и более оценок «неудовлетворительно»)

Примерный перечень теоретических вопросов, входящих в состав билетов на экзамене:

1. Разложение гепотенциала в ряд по сферическим функциям.
2. Формы представления геопотенциала
3. Рекуррентные алгоритмы для вычисления шаровых функций Vnm

4. Природа возмущения от приливных деформаций центрального тела и способы учета этих возмущений в соответствии с рекомендациями IERS.
5. Возмущения от третьего тела. Способы вычисления координат третьего тела.
6. Возмущения от светового давления. Теневая функция
7. Возмущения от сопротивления атмосферы. Модели вычисления плотности атмосферы
8. Разложение возмущающей функции в ряд Пуассона. Особенности представления возмущающей функции в аналитических теориях.
9. Главная проблема в теории движения ИСЗ. Вековые изменения орбит ИСЗ
10. Типы промежуточных орбит в теории движения ИСЗ.
11. Возмущения от геопотенциала, частотные резонансы и их влияние на динамику ИСЗ.
12. Алгоритм учета лунно-солнечных возмущений в аналитических теориях движения ИСЗ.
13. Обобщенный метод Лагранжа вариации произвольных постоянных
14. Медленные и быстрые переменные.
15. Принципы построения методов осреднения уравнений движения небесных тел
16. Метод Делоне-Цайпеля. Каноническое преобразования от исходных переменных к осредненным. Производящая функция и ее особенности.
17. Метод Хори-Депри усреднения с помощью рядов и преобразования Ли
18. Сравнительная характеристика методов усреднения.
19. Методы качественного анализа возмущенного движения
20. Вековые резонансы и их влияние на орбитальную эволюцию.
21. Постановка задачи численного моделирования движения ИСЗ
22. Численные методы решения ОДУ, используемые в задачах высокоточного моделирования движения ИСЗ
23. Методика численного исследование структуры возмущений орбитального движения ИСЗ.
24. Классификация орбит ИСЗ по, высоте полета эксцентриситету и наклонению орбит.
25. Численное моделирование больших систем околоземных объектов.
26. Распределение объектов космического мусора в околоземном пространстве.
27. Характеристики орбитальной эволюции фрагментов космического мусора в зоне ГЕО.
28. Орбитальной эволюции отработавших КА информационных спутниковых систем. ГЛОНАСС и GPS.

Пример практических заданий, входящих в состав билетов на экзамене:

1. Проанализируйте данные, приведенные в таблице, и проведите всестороннюю классификацию орбит (по эксцентриситету, наклонению, высоте)

№	Большая полуось, км	Эксцентри-ситет	Наклонение градусы	№	Большая полуось, км	Эксцентри-ситет	Наклонение градусы
1	8000	0,01	50,0	6	42164,4	0,001	1,0
2	7796	0,002	30,0	7	42000	0,01	0,0
3	26733	0.001	120,0	8	66933	0,01	90,0
4	26562	0,001	55,0	9	123291	0,70	50,0
5	27000	0,75	160,0	10	154294	0,1	35,0

2. Вычислите периоды обращения спутников, приведенных в таблице, вокруг Земли и выделите те из них, которые движутся в резонансе с вращением Земли. (Это

означает, что отношение периода суточного вращения Земли и периода обращения спутника можно представить, как $p \backslash q$, где p и q –целые числа. Запишите эти резонансные соотношения.)

№	Большая полуось, км	№	Большая полуось, км
1	9101	6	42164,4
2	8059	7	42000
3	14446	8	66933
4	26062	9	123291
5	26610	10	154573

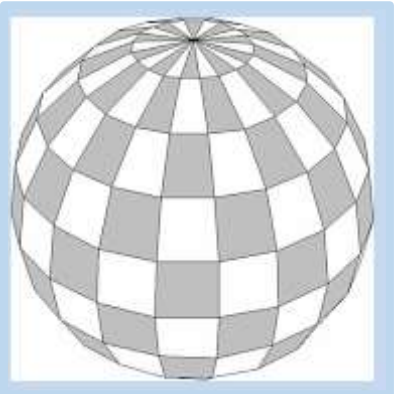
$n = \sqrt{\mu_T / a^3}$, а также $n = 2\pi / T$, $\mu_T = 3.968\ 10^{14}\ м^3 с^{-2}$

Здесь n есть среднее движение спутника, μ_T – гравитационная постоянная Земли (произведение универсальной гравитационной постоянной на массу Земли), а T–период обращения спутника по орбите. При вычислении обращайте внимание на размерности величин.

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

Тест (ИОПК 2.2)

1. В какой зоне околоземного космического пространства находятся спутники, движущиеся в резонансе 1:1 с Землей
   а) в области низких орбит (LEO)
   б) в геостационарной зоне
   в) в области средневысоких орбит (MEO)
2. В какой области околоземного космического пространства на спутники оказывает влияние атмосфера
   а) в области низких орбит (LEO)
   б) в геостационарной зоне
   в) в области средневысоких орбит (MEO)
3. В какой зоне околоземного космического пространства находятся спутники, движущиеся в резонансе 1:2 с Землей
   а) в области низких орбит (LEO)
   б) в геостационарной зоне
   в) в области средневысоких орбит (MEO)
4. В какой зоне околоземного космического пространства действует резонанс Лидова-Козаи
   а) в области низких орбит (LEO)
   б) в геостационарной зоне
   в) в приполярных областях, начиная с зоны средних орбит и выше
5. Чему равны коэффициенты гармоник геопотенциала J_1, C_{11}, S_{11}?
   а) 0,0,0
   б) 1, 0,1
   в) 1,1,1
6. Какой тип гармоник геопотенциала представлен на схеме?

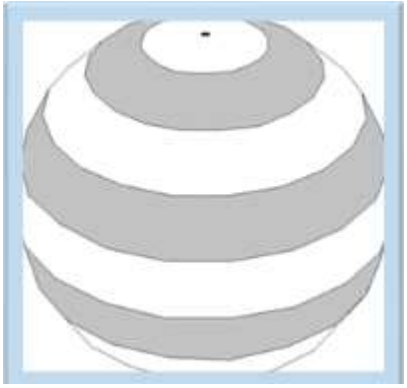


а) зональные гармоники
б) секторальные гармоники
в) тессеральные гармоники

7. Какой тип гармоник геопотенциала представлен на схеме?

а) зональные гармоники
б) секторальные гармоники
в) тессеральные гармоники

8. Какой тип гармоник геопотенциала представлен на схеме?



а) зональные гармоники
б) секторальные гармоники
в) тессеральные гармоники

9. С помощью каких полиномов и присоединенных функций записывается разложение геопотенциала в ряд по сферическим функциям
а) полиномов и присоединенных функций Лежандра
б) полиномов и присоединенных функций Тушара
в) полиномов и присоединенных функций Белла

10. Назовите основную матрицу перехода из Небесной опорной системы координат (CRS) в Земную опорную систему (TRS) координат
    а) матрица прецессии
    б) матрица нутации
    в) матрица поворота на звезное время (h)
    г) матрица, задающая движение полюсов
11. Что такое орбитальный резонанс?
    а) соизмеримость скорости вращения спутника и Земли
    б) соизмеримость долгот орбит спутника и планеты

Ключ: 1-б; 2-а; 3-в; 4-в; 5-а; 6-в; 7-б; 8-а; 9-а; 10-в; 11-а

Задания (ИПК 1.1.)

1) Проанализируйте информацию из сети интернет и приведите примеры спутников, которые движутся в резонансе с вращением Земли

2) Проанализируйте информацию из сети интернет и назовите технически сильно загруженные области околоземного космического пространства

Информация о разработчиках

Александрова Анна Геннадьевна, к.ф.-м.н, кАиКГ ФФ НИ ТГУ, доцент.