

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по ОД

Е.В. Луков

« 14 » октября 2022г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности
«1.3.1. Физика космоса, астрономия»

Томск – 2022

Программа кандидатского экзамена по научной специальности «1.3.1. Физика космоса, астрономия» рассмотрена и рекомендована к утверждению ученым советом *физического факультета*

протокол № 523 от 13.10.2022

Авторы-разработчики:

1. Бордовицына Т.В., д.ф.-м.н., профессор, профессор
2. Галушина Т.Ю., к.ф.-м.н., доцент

Руководитель ОП



Галушина Т.Ю.

1. Общие положения

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» кандидатские экзамены сдаются в соответствии с научной специальностью (научными специальностями) и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени к проведению научных исследований по научной специальности **«1.3.1. Физика космоса, астрономия»** по техническим и физико-математическим наукам (далее – кандидатский экзамен).

Программа кандидатского экзамена разработана на основе Паспорта научной специальности **«1.3.1. Физика космоса, астрономия»** (далее – Программа), утвержденного ВАК при Минобрнауки России
<https://drive.google.com/drive/folders/1RNYkXhvAzaEF85GqxOH8HhbenJIoUMR7>.

Организация и проведение приема кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с установленным в НИ ТГУ порядком.

Подготовка по Программе может осуществляться как самостоятельно, так и в рамках освоения соответствующей программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре НИ ТГУ. Сдача аспирантом кандидатского экзамена является обязательным условием обучения и относится к оценке результатов освоения базовой дисциплины (модуля) образовательного компонента программы, осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

2. Структура кандидатского экзамена и шкала оценивания уровня знаний

Кандидатский экзамен проводится в форме устного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

1. Основные вопросы (не более трёх вопросов по содержанию курса **«Физика космоса, астрономия»**).
2. Дополнительные вопросы (не более трёх вопросов из 2-го раздела содержания Программы).

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

- «отлично» – 5 баллов;
- «хорошо» – 4 балла;
- «удовлетворительно» – 3 балла;
- «неудовлетворительно» – 1-2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

| | |
|--|-----------|
| Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет. | 5 баллов |
| Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные. | 4 балла |
| Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования. | 3 балла |
| Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный | 1-2 балла |

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» – при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» – при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» – при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» – при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

3. Перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена

Тема 1. Системы координат

1.1. Явления прецессии, нутации, абберации и рефракции. Приведение на видимое место.

1.2. Методы определения основных астрометрических постоянных. Теоретические связи между постоянными. Системы астрономических постоянных 1896, 1964, 1976/80 гг.

1.3. Геометрический, кинематический и динамический методы построения системы отсчета.

1.4. Измерение времени: шкала атомного времени IAT. Классические шкалы времени UTO, UT1, UT2, ET. Релятивистские шкалы времени TDT и TDB, TT, TCG, TCB.

1.5. Хранение и воспроизведение шкал времени и эталонных частот. Методы их распространения и синхронизации.

Тема 2. Наземная оптическая астрометрия

2.1. Меридианная астрометрия. Теория и устройство основных меридианных инструментов. Методы абсолютных и относительных определений координат.

2.2. Звездные каталоги и их систематические ошибки. Вывод фундаментальной системы звездных положений и собственных движений. Ориентировка системы координат. Относительные и сводные каталоги. Важнейшие фундаментальные каталоги.

2.3. Фотографическая астрометрия. Астрографы и приборы для измерения астронегативов. Измеренные и стандартные координаты. Методы Тернера и Шлезингера. Фотографические определения координат Луны, планет и ИСЗ.

2.4. Определение собственных движений и параллаксов звезд. Использование галактик для вывода ошибок системы собственных движений звезд.

2.5. Фотографические каталоги. Карта неба, каталоги Астрономического общества (AGK), каталог PPM.

2.6. Использование ПЗС в астрометрии.

2.7. Техника лазерной локации ИСЗ и Луны.

Тема 3. Космическая астрометрия

3.1. Методы позиционных измерений небесных объектов с помощью космических аппаратов. Проект Hipparcos.

3.2. Интерферометрические методы в астрометрии. Наземные и космические интерферометры.

3.3. Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

Тема 4. Радиоастрометрия

4.1. Радиointерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ.

4.2. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и расстояний на поверхности Земли.

4.3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF).

4.4. Радиолокационные и радиointерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.

4.5. Методы согласования оптических и радиосистем координат.

Тема 5. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

5.1. Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля.

5.2. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.

5.3. Инструменты для изучения вращения Земли: пассажный инструмент, зенит-телескоп, призменная астролябия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер, системы GPS и Глонасс.

5.4. Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.

5.5. Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты МСВЗ (IERS).

5.6. Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

Тема 6. Аналитические методы небесной механики

6.1. Невозмущенное движение. Уравнения движения в задаче двух тел и их решение. Возмущенное движение. Уравнения движения n тел и их первые интегралы. Уравнения движения в координатах Якоби.

6.2. Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников. Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.

6.3. Интегрирование с помощью рядов по степеням времени (метод неопределенных коэффициентов и метод рядов Ли).

6.4. Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова-Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.

6.5. Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.

6.6. Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.

6.7. Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби.

6.8. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.

6.9. Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел. - Стационарные решения этих уравнений.

Тема 7. Качественные методы небесной механики

7.1. Переменные действие-угол. Интегрируемые системы. Теорема Лиувилля. Теоремы Брунса и Пуанкаре об интегрируемости задачи нескольких тел.

7.2. Сохранение фазового объема. Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Функция последования.

7.3. Условно-периодические функции. Среднее значение. Инвариантные торы. Основные идеи метода Колмогорова - Арнольда - Мозера.

7.4. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону.

7.5. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Топология поверхностей Хилла. Устойчивость точек либрации. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.

Тема 8. Основы гравиметрии

8.1. Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы.

8.2. Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.

Тема 9. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли

9.1. Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.

9.2. Разложение возмущающей функции, обусловленной не центральностью гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Возмущающая функция от притяжения внешнего тела. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ.

9.3. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Возмущения на основе промежуточной орбиты обобщенной задачи двух неподвижных центров.

9.4. Задача Хилла и ее использование в теории движения.

9.5. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливов в теле упругой планеты.

Тема 10. Определение орбит по результатам измерений

10.1. Постановка задачи определения орбит. Определение орбиты по двум положениям. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям.

10.2. Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений. Метод наименьших квадратов при известной ковариационной матрице наблюдений. Метод коллокации. Метод наименьших модулей.

10.3. Построение условных уравнений при уточнении элементов орбит спутников из лазерных и радиотехнических наблюдений.

Тема 11. Звездная динамика

11.1. Структура Галактики. Подсистемы Галактики.

11.2. Кинематика Галактики. Характеристики вращения и распределений остаточных скоростей.

11.3. Модели Галактики и орбиты звезд в них.

11.4. Динамика бесстолкновительных звездных систем. Уравнение Больцмана. Интегралы движения.

11.5. Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения.

11.6. Фигуры равновесия небесных тел.

Примечание. Для соискателей ученой степени кандидата физико-математических наук - использовать разделы 1(п. 1.1-1.4), 2(п. 2.1-2.5), 3(п. 3.1, 3.2), 4(п. 4.2-4.5), 5(п. 5.1-5.6), 6(п. 6.1-6.9), 7(п. 7.1-7.5), 8 - 11; для соискателей ученой степени кандидата технических наук - использовать разделы 1(п. 1.4, 1.5), 2(п. 2.1, 2.3, 2.6, 2.7), 3(п. 3.2, 3.3), 4(п. 4.1, 4.2, 4.4), 5(п. 5.3).

Рекомендуемая литература

1. Куликов К.А. Сферическая астрономия. М.: Наука, 1975.
2. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
3. Киселев А.А. Теоретические основы фотографической астрометрии. М.: 1989.
4. Абалакин В.К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979.
5. Kovalevsky. J. Modern Astrometry. Kluwer Acad.Publ., 1995.
6. Walter H.G., Sovers O.J. Astrometry of Fundamental Catalogues. Springer, 2000.
7. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Физматгиз, 1962;
8. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
9. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука 1968.
10. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1977.
11. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. М.: Наука, 1971.
12. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения: гарантирующий подход. М.: Наука, 1980.
13. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. СПб.: Наука, 1997.
14. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. М.: Наука, 1983.
15. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
16. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютоновского потенциала. М.: Наука, 1988.
17. Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.
18. Binney J., Merrifield M. Galactic astronomy. Princeton: Princeton University Press, 1998.

Раздел 2. Дополнительные вопросы

Область исследования: Теоретические и экспериментальные исследования движения, строения и эволюции тел Солнечной системы. Структура, состав планетных атмосфер, поверхности и недр планет и малых тел Солнечной системы

1. Физика и геометрия резонанса в движении малых тел солнечной системы
2. Источники резонансных возмущений в движении малых тел Солнечной системы.
3. Орбитальные резонансы в движении спутников Земли. Расщепление резонансов. Методика исследования.
4. Вековые резонансы в динамике спутников Земли. Типы резонансов. Методика исследования.
5. Численное моделирование резонансного движения малых тел Солнечной системы.
6. Особенности орбитальной эволюции околоземных объектов под действием резонансов. Влияние одиночных резонансов. Хаотичность движения как следствие наложения резонансов различных типов.
7. Влияние светового давления на динамику околоземных объектов. Вторичные резонансы.
8. Особенности совместного влияния возмущения от светового давления и вековых резонансов на движение спутников Земли.
9. Проблема малых знаменателей и критический аргумент в движении астероидов.
10. Орбитальные резонансы в движении астероидов. Основные резонансные характеристики. Взаимное влияние резонансов и тесных сближений.
11. Вековые резонансы в динамике астероидов. Типы резонансов. Методика исследования.
12. Хаотичность движения астероидов. Показатели хаотичности.

Рекомендуемая литература.

1. Морбиделли А. Современная небесная механика. Аспекты динамики Солнечной системы. – Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2014. 432 с.
2. Бордовицына Т.В., Томилова И.В. Исследование распространенности вековых резонансов в околоземном орбитальном пространстве // Изв. вузов. Физика. 2013а. № 10/2. С. 150 – 158.
3. Allan R.R. Resonance effects due to the longitude dependence of the gravitational field of a rotating primary // Planet. and Space Sci. 1967a. V. 15. P. 53–76.
4. Allan R.R. Satellites resonance with the longitude dependent gravity. II. Effects involving the eccentricity // Planet. and Space Sci. 1967b. V. 15. P. 1829–1845.

5. Celletti A., Gales C., Lhotka Ch. Resonances in the Earth's space environment// Nonlinear Sci Numer Simulat. 2020 V. 84. P. 1-22
6. Cincotta P.M., Girdano C.M., Simo C. Phase space structure of multi-dimensional systems by means of the mean exponential growth factor of nearby orbits // Physica D. 2003. V. 182. P. 151–178.
7. Cook G.E. Luni-Solar Perturbations of the Orbit of an Earth Satellite // Geophys. J. 1962. V.6. № 3. P. 271 – 291.
8. Daquin J. et al The dynamical structure of the MEO region: long-term stability, chaos, and transport // Celest Mech Dyn Astr. Published online 02 January 2016. C. 280 – 289.
9. Kozai, Y. Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity // Astron.J. 1962.V. 67. P. 591 – 598.
10. Kuznetsov E.D., Zakharova P.E., Glamazda D.V., Shagabutdinov A.I., Kudryavtsev S.O. Light pressure effect on the orbital evolution of objects moving in the neighborhood of low-order resonances // Sol. Syst. Res. 2012. V. 46. Is 6. P. 442–449.
11. Lidov M.L. The evolution of orbits of artificial satellites of planets under the action of gravitational perturbations of external bodies// Planetary and Space Science, 1962 V. 9, Is. 10, P. 719 – 759.
12. Shevchenko I.I. The Lidov–Kozai Effect – Applications in Exoplanet Research and Dynamical Astronomy. Springer. 2016. 194 p.
13. Valk S., Delsate N., Lemaître A., Carletti T., Global dynamics of high area-to-mass ratios GEO space debris by means of the MEGNO indicator // Adv. Space Res. 2009. V. 43. P. 1509 – 1526.
14. Галушина Т.Ю. Динамика резонансных астероидов // Физика космоса: Труды 45-й международной студенческой научной конференции, 1 – 5 февр. 2016 г. – Екатеринбург 2016: Изд-во Урал. Ун-та, 2016. С. 43 – 58.
15. Шефер В.А., Коксин А.М. Вычисление показателей хаотичности орбит, основанных на касательных векторах: применение к ограниченной задаче трех тел // Изв. вузов. Физика. – 2013. – V. 56. – № 6/3. – С. 256–258.

3. Пример формирования вопросов, включаемых в экзаменационный билет

По основной программе:

1. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Понятие о вековых возмущениях
2. Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли и Луны.

3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF). Матрицы перехода

По дополнительной программе:

4. Физика и геометрия резонанса в движении ИСЗ
5. Орбитальные резонансы в движении ИСЗ. Расщепление резонансов.
6. Вековые резонансы в динамике спутников Земли и Луны. Типы резонансов.