

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук**

Принято на заседании Ученого совета
протокол от 11.11.19 № 7

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГАО РАН



**ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

**направление подготовки – 03.06.01 «Физика и Астрономия»
профиль – 01.03.01 «Астрометрия и небесная механика»**

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Санкт-Петербург
2019

1. Основные положения

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине (далее – экзамен) проводится в соответствии с направлением подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия» федерального государственного образовательного стандарта и направленностью программы подготовки, соответствующей научной специальности 01.03.01 – «Астрометрия и небесная механика».

Программа составлена в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 г. № 274 (зарегистрирован Минюстом России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363); паспортом научной специальности, разработанным экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59 Номенклатуры специальностей научных работников (редакция от 08.06.2017).

Основу данной программы составили ключевые положения следующих дисциплин: Астрометрия, Небесная механика.

Экзамен проводится в **устной форме**.

Цель кандидатского экзамена заключается в определении уровня общей личностной культуры, профессиональной компетентности и готовности аспиранта к научно-теоретической, исследовательской и опытно-экспериментальной деятельности. Ориентация аспирантов и соискателей в вопросах истории астрономии и физики позволяет им обоснованно, профессионально, методологически и методически грамотно конструировать и организовать собственную исследовательскую деятельность, выстраивая ее в логике научного процесса. С этих позиций организация экзамена должна строиться в соответствии с существующими общими нормативными требованиями, а его программа должна быть скорректирована на основе своеобразия той или иной научной школы.

В качестве наиболее значимых методологических принципов подготовки к сдаче кандидатского экзамена необходимо рассматривать следующие:

- хронологичности, позволяющей анализировать астрономические теории и методику изучения астрономических объектов как многомерное, развивающееся явление, имеющее сложную структуру;
- целостности, ориентирующей на сквозное рассмотрение процесса становления и развития той или иной концепции в единстве с общими тенденциями развития научной теории и практики;
- вариативности, допускающей внесение определенной авторской коррекции в существующие концептуальные научно-теоретические подходы и их дальнейшую интерпретацию в собственной исследовательской работе;
- интегративности, основывающейся на тщательном изучении общих тенденций и закономерностей истории литературы и теории литературы и частных методик.

Таким образом, программа экзамена предполагает детальное осознание уже существующих теоретико-методологических оснований исследуемой историко-литературной области и формирование на их основе собственного исследовательского подхода в контексте разработки основных технологических установок, соответствующих традициям той или иной научной школы. Это нацеливает аспирантов и соискателей на необходимость в ходе подготовки к экзамену осуществлять критический, сравнительно-сопоставительный анализ разнообразных по своей концептуальной и методологической направленности научных (философских, теоретических, технологических, практических) разработок с целью оптимизации дальнейшей научно-исследовательской деятельности.

2. Основные критерии оценивания

Общими критериями оценивания ответа аспиранта (экстерна) являются: полнота и правильность ответа; широта и глубина применяемых в ответе фактов, примеров; функциональность и вариативность языковых и речевых единиц; аутентичность использования языкового материала, его коммуникативная, когнитивная уместность и достаточность; языковое оформление ответа; степень осознанности, понимания изученного; связность и корректность речи. Частные критерии определяются в соответствии с содержанием вопроса.

Оценка «5». Развернутый ответ должен представлять собой связное, логичное, последовательное раскрытие поставленного вопроса, освещение различных научных концепций, с ней связанных; широкое знание литературы по вопросу. Аспирант должен продемонстрировать понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике, излагать материал последовательно с точки зрения логики предмета и норм литературного языка.

Оценка «4» выставляется, если аспирант дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для отметки «5», но допускаются некоторые ошибки, которые исправляются самостоятельно; допускаются также некоторые недочеты в изложении ответа.

Оценка «3» выставляется, если аспирант обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в ответе; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в языковом оформлении излагаемого.

Оценка «2» выставляется, если аспирант обнаруживает незнание большей части проблем, связанных в изучением вопроса; допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «2» отмечает такие недостатки в подготовке аспиранта (соискателя), которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

При выставлении оценки, особенно неудовлетворительной, председатель объясняет сдающему кандидатский экзамен по специальности недостатки его ответа.

Программа кандидатского экзамена составлена на основе программы ВАК.

Программа кандидатского экзамена и список основной и дополнительной литературы обновлен с учетом развития научной мысли в области астрометрии и небесной механики.

3. Структура кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен - дифференцируемый результат по пятибалльной системе промежуточной аттестации аспиранта по итогам дисциплин, проблемы и темы которых входят в программу кандидатского экзамена. Экзамен проводится в форме собеседования или ответов на вопросы в форме билетов или проблемных вопросов. Кандидатский экзамен по специальной дисциплине, состоит из двух частей. Первая часть является промежуточной аттестацией обязательных дисциплин: Астрофизика, Радиоастрономия и Физика Солнца. Вторая часть экзамена является промежуточной аттестацией знаний, полученных в ходе освоения вариативной части образовательной программы и связанных с научными исследованиями по профилю подготовки аспиранта. Программа второй части экзамена утверждается Ученым советом ГАО РАН.

Программа второй части кандидатского экзамена по специальности состоит из реферата по теме диссертации, библиографии и списка вопросов, раскрывающих содержание диссертации, используемые методы научного исследования и последние достижения в научной отрасли. Вопросы в дополнительной программе не должны

дублировать список вопросов к первой части экзамена по специальности. Список вопросов оформляется в двух экземплярах, с титульным листом согласно образцу. На титульной странице указывается номер и дата заседания Ученого совета, на котором этот список был утвержден, и ставится подпись научного руководителя. В списке литературы должны присутствовать источники за последние 5 лет. Программа в печатном и электронном виде и реферат по теме диссертации сдаются заведующему аспирантурой до создания комиссии по приему экзамена. Программа публикуется на сайте ГАО РАН.

По итогам сдачи двух частей кандидатского экзамена выставляется общая оценка по пятибалльной системе.

4. Тематика кандидатского экзамена

1. Системы отсчета

Системы координат в астрономии (горизонтальные, экваториальные, галактические) и переход от одной системы координат к другой. Влияние явлений прецессии, нутации, параллакса, абберации, рефракции и гравитационного отклонения на координаты небесных тел. Приведение на видимое место. Построение опорной системы: геометрический, кинематический и динамический подходы. Система ICRF и звездные каталоги, реализующие ICRF в оптическом диапазоне (HIPPARCOS, Tycho-2, UCAC4, Gaia DR1 и DR2). Основные астрономические постоянные и методы их определения. Теоретические связи между постоянными. Система постоянных 2006 года. Шкалы времени: звездное и среднее солнечное время. Классические шкалы времени UT0, UT1, UT2, ET. Шкалы атомного времени TAI и UTC. Релятивистские шкалы времени TDT и TDB, TT, TCG, TCB. Хранение и воспроизведение шкал времени и эталонных частот. Методы их распространения и синхронизации.

2. Наземная оптическая астрометрия

Использование ПЗС-наблюдений для определения координат небесных объектов: функция рассеяния точки и атмосферная турбуленция, методы определения пиксельных координат фотоцентров, проблема кросс-идентификации изображений объектов на ПЗС-кадре с данными каталогов и эфемерид, астрометрическая редукция ПЗС-кадра в режимах полного кадра и ВЗН, основные модели астрометрической редукции. Возможности использования архивов астронегативов для уточнения собственных движений звезд и совершенствования эфемерид тел Солнечной системы. Основные фотографические и ПЗС-обзоры неба (DSS, SDSS, 2MASS, UKIDSS, Pan-STARRS) их особенности и примеры использования в астрометрии. Астрометрические наблюдения визуально-двойных звезд: методы определения относительных положений. Методы высокого разрешения в астрометрии: спекл-интерферометрия и интерферометрия. Техника лазерной локации ИСЗ и Луны.

3. Космическая астрометрия

Методы позиционных измерений небесных объектов с помощью космических аппаратов. Проекты Hipparcos и Gaia. Построение астрометрических каталогов на основе результатов космических миссий: пятипараметрическое решение для одиночных звезд. Характеристика Gaia DR1 и Gaia DR2, система GaiaCRF. Методы астрометрии при анализе наблюдений, выполненных в рамках миссий космических телескопов WISE, HST, Spitzer ST, миссии Кассини и др. Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

4. Радиоастрометрия

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

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

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

Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.

Методы согласования оптических и радиосистем координат.

5. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля.

Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.

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

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

Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты MCB3 (IERS).

Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

6. Определение орбит по результатам измерений

Постановка задачи определения орбит. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям. Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений. Определение орбит двойных звезд (методы ПВД и Тиле-Иннеса) и экзопланет на основе астрометрических, спектральных и фотометрических наблюдений.

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

7. Аналитические методы небесной механики

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.

Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников.

Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.

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

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

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

Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.

Канонические преобразования. Метод Гамильтона–Якоби.

Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.

Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел. Стационарные решения этих уравнений. Уравнение Белецкого. Спин-орбитальные резонансы.

8. Качественные методы небесной механики

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

Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Теорема Пуанкаре о возвращении. Отображения Пуанкаре. Симплектические отображения. Критерий перекрытия резонансов Чирикова. Инвариантные торы. Выводы теории Колмогорова–Арнольда–Мозера. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Соотношение Тиссерана. Топология поверхностей Хилла. Сфера Хилла. Точки либрации и их устойчивость. Семейства периодических решений вблизи точек либрации. Эффект Лидова–Козаи. Его проявления в динамике ИСЗ и тел Солнечной системы. Апсидальные коротации в двухпланетной задаче как стационарные точки осредненного Гамильтониана. Их роль в задачах адиабатической миграции экзопланет с диссипативными силами.

9. Основы гравиметрии

Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы. Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.

10. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли

Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли. Разложение возмущающей функции, обусловленной нецентральностью гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Задача Хилла и ее использование в теории движения. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливные возмущения.

11. Звездная динамика

Структура Галактики. Подсистемы Галактики. Кинематика Галактики. Характеристики вращения и распределений остаточных скоростей. Модели Галактики и орбиты звезд в них. Динамика бесстолкновительных звездных систем. Уравнение Больцмана. Интегралы движения. Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения. Фигуры равновесия небесных тел.

4. Список вопросов к первой части кандидатского экзамена

1. Системы отсчета

1. Горизонтальная, экваториальная и галактическая системы координат. Преобразования координат при переходе от одной системы к другой.
2. Явления прецессии, нутации, абберации, гравитационного отклонения света и рефракции. Приведение на видимое место.
3. Методы определения основных астрометрических постоянных. Теоретические связи между постоянными. Система астрономических постоянных 2006 г.

4. Геометрический, кинематический и динамический методы построения опорной системы. Система ICRF. Использование астрометрических каталогов HIPPARCOS, Tycho-2, UCAC4, Gaia DR1 и DR2. Основные свойства этих каталогов.
5. Связь звездного и среднего солнечного времени. Классические шкалы времени UT0, UT1, UT2, ET. Атомное время TAI и UTC. Релятивистские шкалы TDT и TDB, TT, TCG, TCB.

2. Наземная оптическая астрометрия

1. Принцип работы ПЗС-приемника. Атмосферная турбуленция и функция рассеяния точки. Определение пиксельных координат фотоцентра изображения звездообразного объекта на ПЗС-кадре. Проблема декомпозиции изображений на ПЗС-кадре.
2. Тангенциальные координаты. Методы астрометрической редукции ПЗС-кадра. Учет наклонности, неточности определения оптического центра ПЗС-кадра, комы, дисторсии. Режимы полного кадра и ВЗН.
3. Уточнение собственных движений звезд и эфемерид тел Солнечной системы на основе архивов фотографических и ПЗС-наблюдений. Свойства фотографических и ПЗС-обзоров неба, применяемы для этих целей (DSS, SDSS, 2MASS, UKIDSS, Pan-STARRS).
4. Астрометрические методы наблюдений визуально-двойных звезд. Методы высокого разрешения: спекл-интерферометрия, адаптивная оптика и интерферометрия.

3. Космическая астрометрия

1. Абсолютные методы определения координат небесных тел, реализованные в рамках проектов HIPPARCOS, TYCHO, Gaia.
2. Построение астрометрических каталогов на основе результатов космических миссий: пятипараметрическое решение для одиночных звезд. Характеристика Gaia DR1 и Gaia DR2, система GaiaCRF.
3. Методы астрометрии при анализе наблюдений, выполненных в рамках миссий космических телескопов WISE, HST, Spitzer ST, миссии Кассини (особенности построения функции рассеяния точки).
4. Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

5. Радиоастрометрия

1. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ.
2. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и расстояний на поверхности Земли.
3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF).
4. Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.
6. Методы согласования оптических и радио- систем координат.

7. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

1. Уравнения Эйлера, Пуассона и Лиувилля.
2. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.

3. Инструменты для изучения вращения Земли: пассажный инструмент, зенит-телескоп, призменная астролябия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер, системы GPS и Глонасс.
4. Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.
5. Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты MCB3 (IERS).
6. Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

8. Определение орбит по результатам измерений

1. Постановка задачи определения орбит. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям. Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений.
2. Определение орбит двойных звезд (методы ПВД и Тиле-Иннеса) и экзопланет на основе астрометрических, спектральных и фотометрических наблюдений.
3. Построение условных уравнений при уточнении элементов орбит спутников из лазерных и радиотехнических наблюдений.

9. Аналитические методы небесной механики

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.
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.
3. Интегрирование с помощью рядов по степеням времени (метод неопределенных коэффициентов и метод рядов Ли).
4. Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова–Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.
5. Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.
6. Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.
7. Канонические преобразования. Метод Гамильтона–Якоби.
8. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.
9. Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел. Стационарные решения этих уравнений. Уравнение Белецкого. Спин-орбитальные резонансы.

10. Качественные методы небесной механики

1. Переменные действие—угол. Интегрируемые системы. Теорема Лиувилля. Теоремы Брунса и Пуанкаре об интегрируемости задачи нескольких тел.
2. Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Теорема Пуанкаре о возвращении. Отображения Пуанкаре. Симплектические отображения.
3. Критерий перекрытия резонансов Чирикова.
4. Инвариантные торы. Выводы теории Колмогорова–Арнольда–Мозера.
5. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону.

6. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Соотношение Тиссерана. Топология поверхностей Хилла. Сфера Хилла.
7. Точки либрации и их устойчивость. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.
8. Эффект Лидова–Козаи. Его проявления в динамике ИСЗ и тел Солнечной системы.
9. Апсидальная коротация в двухпланетной задаче и стационарные точки осредненного Гамильтониана. Их роль в задаче адиабатической миграции экзопланет с диссипативными силами. Линии постоянного отношения масс планет как эволюционные треки планетной системы.

11. Основы гравиметрии

1. Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы.
2. Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.

12. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли

1. Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита.
2. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.
3. Разложение возмущающей функции, обусловленной нецентральностью гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ.
4. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Возмущения на основе промежуточной орбиты обобщенной задачи двух неподвижных центров.
5. Задача Хилла и ее использование в теории движения.
6. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливные возмущения.

11. Звездная динамика

1. Структура Галактики. Подсистемы Галактики.
2. Кинематика Галактики. Характеристики вращения и распределений остаточных скоростей.
3. Модели Галактики и орбиты звезд в них.
4. Динамика бесстолкновительных звездных систем. Уравнение Больцмана. Интегралы движения.
5. Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения.
6. Фигуры равновесия небесных тел.

5. Литература

1. Основная литература

1. Жаров В.Е. Сферическая астрономия, Фрязино, 2006, 480 с.
2. Ковалевский Ж. Современная астрометрия, Фрязино, 2004, 480 с.
3. Марей К.Э. Векторная астрометрия, Киев, Наукова Думка, 1986, 328 с.

4. Куликов К.А. Сферическая астрономия. М.: Наука, 1975.
5. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
6. Киселев А.А. Теоретические основы фотографической астрометрии. М.: 1989.
7. Абалакин В.К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979.
8. Walter H.G., Sovers O.J. Astrometry of Fundamental Catalogues. Springer, 2000.
9. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии. СПб.: Наука, 1997.
10. Мориц Г., Мюллер А. Вращение Земли: Теория и наблюдения. Киев: Наукова думка, 1992.
11. Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в радиоастрометрию. М.: Наука, 1983.
12. П.И.Бакулин Фундаментальные каталоги звезд (переизданное с дополнением Гуляева).
13. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Физматгиз, 1962;
14. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
15. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука 1968.
16. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1977.
17. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. М.: Наука, 1971.
18. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. СПб.: Наука, 1997.
19. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. М.: Наука, 1983.
20. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
21. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютоновского потенциала. М.: Наука, 1988.
22. К.Мюррей, С.Дермотт "Динамика Солнечной системы". Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 2010. (Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.)
23. А.Морбиделли «Современная небесная механика.» Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2014. 432 с.

2. Дополнительная литература

1. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
2. Уокер Г. Астрономические наблюдения. М.: Мир, 1990.
3. Токовинин А.А. Звездные интерферометры. М.: Наука, 1988.
4. О.А. Титов. Математическая обработка наблюдений. Курс лекций.
<http://www.astro.spbu.ru/astro/win/resources/index.html>
5. Steve B. Howell. Handbook of CCD Astronomy. 2-nd Edition. Gamburg. 224p. 2006.
6. К.Секен, М. Томпсет Приборы с переносом заряда Мир. Москва, 1978.
7. Hans G.Walter, Ojars J.Sovers. Astrometry of Fundamental Catalogues. Springer. 231p.2000/
8. R.Wielen Principles of statistical astrometry. A&A 1997. 325. 367-382.
9. Carlsberg Meridian Catalogue La-Palma NN 1-14.
10. D. G. Monet, S.E.Levine, et. al. The USNO-B catalog. A.J. 2003. 125. 984-993.
11. The Second US Navel Observatory CCD astrograph catalog (UCAC2).ArXiv:astro-ph/0403060 v.1.2 2004.
12. The two micron all sky survey (2MASS) A.J. 2006.131.1163-1183.
13. Astrometric calibration of the SLON digital sky survey. A.J. 2003.125.1559-1579

14. N.Zacharias, C.Finch, T.Girard, et.al. The Third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog. (UCAC3). arXiv: 1003.21.36v1 [astro-ph.IM] 09.03.2010.
15. В.К. Гришин. Статистические методы анализа и планирования экспериментов. 1975. 127с.
16. Д.Худсон. Статистика для физиков. Изд. Мир. 1970. 295с.
17. Астрономические исследования в Пулковке сегодня. Под ред. А.В.Степанова. С.-Петербург: ГАО РАН (ВВМ), 2009.
18. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
19. М.Я.Маров, И.И.Шевченко, «Экзопланеты. Экзопланетология.» Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2017. 138 с. ISBN 978-5-4344-0457-0
20. I.I.Shevchenko, "The Lidov–Kozai Effect – Applications in Exoplanet Research and Dynamical Astronomy." Springer, 2017. 205 p. ISBN 978-3-319-43520-6

3. Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека по физике и астрономии - adsabs.harvard.edu
2. Электронная библиотека по физике и астрономии - <http://arxiv.org/archive/astro-ph>