

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан ФФ
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Фундаментальная астрометрия

по направлению подготовки / специальности

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки / специализация:
«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

Элементы текущего контроля:

- контрольная работа;
- посещение лекций;
- выполнение практических заданий.

В процессе текущего контроля студенты получают баллы, которые являются допуском к зачету. Посещение одной лекции оценивается в 1 или 2 балла в зависимости от активности студента, выполнение лабораторной работы оценивается максимум в 15 баллов в зависимости от качества выполнения и срока сдачи отчета.

Контрольная работа (ИОПК 2.2, ИПК 1.1) проводится после изучения каждой темы и состоит из теоретических вопросов и практических заданий. За каждый верный ответ выставляется 1 балл.

Перечень теоретических вопросов:

1. Что такое астрометрия?
2. Основные задачи астрометрии
3. Параллакс
4. Квазар
5. Основные разделы астрометрии
6. ПВСК
7. ПВСО
8. Классические астрометрические инструменты
9. Теоретическая система отсчета
10. Опорная система отсчета
11. Фундаментальные астрономические постоянные
12. Система астрономических постоянных (определение)
13. Современная система астрономических постоянных
14. Фундаментальный каталог (определение)
15. Современный фундаментальный каталог
16. ICRF, ICRF2
17. HCRF
18. Эфемеридное время
19. Основные задачи, которые необходимо решить при реализации опорной системы
20. Наблюденная система координат
21. Переход от фундаментальной системы координат к инерциальной

22. Свойства опорной системы, необходимые для удовлетворения нужд современной науки
23. Характеристики фундаментального каталога, подходящего для создания опорной системы
24. Какую роль играет небесная сфера при наблюдении и измерении положений светил?
25. В чем отличие видимых топоцентрических, геоцентрических и гелиоцентрических положений небесных объектов?
26. Почему изменяется положение земной оси в пространстве относительно звезд. Каков характер этого движения?
27. Что такое эклиптика и в каком направлении наблюдается видимое движение Солнца по ней?
28. Какое обозначение имеют точки осеннего и весеннего равноденствия и почему?
29. Физический смысл точек осеннего и весеннего равноденствия
30. Что такое астрономическая широта?
31. Что такое плоскость горизонта и полуденная линия в данной точке земного сфероида?
32. Что такое кульминация светил?
33. От чего зависит разность высот светил в моменты обоих кульминаций?
34. Тропический год
35. Плоскость небесного меридиана
36. Вертикал и круг склонения светила
37. Главные направления и плоскости в различных системах координат
38. Координаты в различных системах координат
39. Звездное время
40. Параллактический треугольник
41. Астрономический треугольник
42. Абсолютная и видимая звездная величина для звезд и тел Солнечной системы
43. Местное истинное солнечное время
44. Истинные солнечные сутки
45. Среднее эклиптическое Солнце
46. Среднее экваториальное Солнце
47. Средние солнечные сутки
48. Уравнение времени
49. Всемирное время
50. UTC
51. Местное среднее время
52. Декретное время
53. Московское время
54. Звездное время
55. Звездные сутки
56. Эфемеридное время
57. Шкала атомного времени, атомная секунда
58. Юлианская дата
59. Тропический год
60. Звездный год
61. Хронометрия
62. Осциллятор
63. Кварцевые часы
64. Атомный стандарт частоты
65. Шкала времени
66. Мазер

67. Международное атомное время
68. Лазер
69. Лазерная дальномерная система
70. Перечислите известные вам глобальные навигационные системы
71. Назовите два различных способа применения радиолокации планет
72. Пульсар
73. Древние астрономические обсерватории
74. Старинные астрономические инструменты и инструменты навигации
75. Кто и когда изобрел оптический телескоп?
76. Рефрактор
77. Рефлектор
78. Катадиоптрические телескопы
79. Крупнейшие современные телескопы
80. Самый большой в мире наземный радиотелескоп
81. Коуровская астрономическая обсерватория
82. Космические телескопы
83. Разрешение телескопа

Примеры задач:

Задача 1

Астероиды с перигелийными расстояниями, меньшими или равными 1.3 а.е., принято называть астероидами, сближающимися с Землёй (АСЗ). Какие из перечисленных ниже астероидов относятся к классу АСЗ?

Объект	i , град.	e	a , а.е.
33 Polyhymnia	1.868832	0.33661514	2.86716098
3552 Don Quixote	31.070182	0.71343091	4.22316911
2015 EY	3.933961	0.58723155	2.01202100

Объект	i , град.	e	a , а.е.
30 Urania	2.098016	0.12668329	2.36552396
2015 DN215	10.415655	0.75157243	2.77235704
2015 DU215	33.023516	0.22183933	2.61661314

Задача 2

Альтаир (α Aql / Альфа Орла) — самая яркая звезда в созвездии Орла и 12-я по яркости звезда на небе. Видимый блеск — 0.77m. Его диаметр — 3 угловых миллисекунды. Параллакс (π) — 194.97 mas. Определите его радиус в радиусах Солнца и абсолютную звездную величину

Задача 3

Денеб (α Cyg / α Cygni / Альфа Лебеда) — самая яркая звезда в созвездии Лебеда и двадцатая по яркости звезда в ночном небе, с видимой величиной +1.25m. Вместе со звёздами Вега и Альтаир Денеб образует «летне-осенний треугольник», который виден в Северном полушарии в летние и осенние месяцы. Угловой диаметр около 0.0025''. Параллакс (π) — 2.29 mas. Определите ее радиус в радиусах Солнца и абсолютную звездную величину

Ответы:

Задача 1. 3552 Don Quixote, 2015 EY, 2015 DN215

Задача 2. 1.7 $R_{\odot}$, 2.22

Задача 3. 108–114 $R_{\odot}$, –6.95

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

Промежуточная аттестация проводится в форме устного зачета, который состоит из трех этапов, которые проводятся последовательно и успешное прохождение является допуском к следующему этапу. На первом этапе студент должен рассказать про основные сферические системы координат и шкалы времени. На втором этапе студент отвечает на контрольные вопросы, перечень которых приведен выше. Вопросы из списка выбираются случайным образом. Если студент затрудняется с ответом на три вопроса подряд, то он не допускается ко третьему этапу и получает оценку «неудовлетворительно». Третий этап проводится по билетам. Каждый билет состоит из двух теоретических вопросов по одной из тем дисциплины и одной задачи. Билеты к зачету приведены ниже.

Билет № 1

1. Место астрометрии в астрономии
2. Экваториальные системы координат

Билет № 2

1. Внегалактические объекты
2. Взаимосвязь горизонтальной и экваториальной систем. Параллактический

треугольник и его решение

Билет № 3

1. Звезды
2. Эклиптическая система координат. Связь с экваториальной.

Астрономический треугольник

Билет № 4

1. Система Земля-Луна
2. Галактическая система координат

Билет № 5

1. Определение координат пунктов земной поверхности, разработка методов навигации

2. Солнечное время

Билет № 6

1. Основные разделы астрометрии
2. Системы Всемирного времени и неравномерность вращения Земли

Билет № 7

1. Астрометрия в малом поле
2. Местное, поясное и декретное время

Билет № 8

1. Астрометрия в большом поле
2. Звездное время

Билет № 9

1. Измерение расстояний
2. Эфемеридное время

Билет № 10

1. Классические астрометрические инструменты
2. Атомное время

Билет № 11

1. Теоретические системы отсчета
2. Динамические шкалы времени

Билет № 12

1. Условная система отсчета
2. Пульсарная шкала времени

Билет № 13

1. Фундаментальные астрономические постоянные

2. Системы счета дней

Билет № 14

1. Условные опорные системы отсчета
2. Летосчисление

Билет № 15

1. Изменение опорных координат
2. Хронометрия

Билет № 16

1. Применение локальных координат
2. Осцилляторы

Билет № 17

1. Изучение вращения Земли
2. Кварцевые осцилляторы

Билет № 18

1. Связь с небесной системой отсчета
2. Цезиевые атомные стандарты частоты

Билет № 19

1. Новая промежуточная система
2. Атомные часы

Билет № 20

1. Спутниковая астрометрия
2. Атомные шкалы времени

Билет № 21

1. Основные задачи установления опорной системы отсчета
2. Лазеры

Билет № 22

1. Наблюденная система координат
2. Глобальная система позиционирования – GPS

Билет № 23

1. Фундаментальная система координат
2. Радиолокация планет

Билет № 24

1. Инерциальная система координат
2. Старинные астрономические инструменты и инструменты навигации

Билет № 25

1. Фундаментальные каталоги звезд
2. Оптические инструменты

Билет № 26

1. Требования к идеальному опорному каталогу
2. Конструкция телескопа

Билет № 27

1. Установление системы отсчета, связанной с внегалактическими радиоисточниками

2. Современные телескопы

Билет № 28

1. Небесная сфера
2. Радиотелескопы

Билет № 29

1. Важнейшие астрономически значимые направления и плоскости, их пространственное ориентирование относительно звезд. Связь с Землей и ее движением

2. Эксперимент Гиппаркос

Билет № 30

1. Небесная сфера в пункте наблюдения, ее основные точки, линии, плоскости
2. Космический телескоп «Хаббл»

Билет № 31

1. Принципы создания сферических ортогональных систем координат
2. Космический телескоп «Gaia»

Билет № 32

1. Горизонтальная система координат
2. Радиоастрон — телескоп будущего

Примеры задач:

1. Годичный параллакс ближайшей к Солнцу звезды – Проксима Центавра – равен 768.7 ± 0.3 mas. Определить расстояние до нее в парсеках, астрономических единицах и световых годах, оценить, как погрешность в измерении параллакса влияет на погрешность в измерении расстояний.
2. Оцените наименьшее расстояние от Земли до Венеры и определите ее суточный параллакс в этот момент.
3. Определите диаметр звезды Проксима Центавра в километрах при видимом угловом диаметре $0.001''$. Годичный параллакс Проксима Центавра равен 768.7 ± 0.3 mas.
4. Эксцентриситет орбиты Земли $e = 0.017$. Определите угловой радиус Солнца в перигелии и афелии. Радиус Солнца примерно равен 700 тыс км
5. Сирius (лат. Sirius), также α Большого Пса (лат. α Canis Majoris) — звезда созвездия Большого Пса. Ярчайшая звезда ночного неба. Видимый блеск $-1.46m$. Параллакс (π) – 379.21 mas. Определите его абсолютную звездную величину
6. В Поясе Койпера на одинаковом расстоянии от Солнца движутся два сферических объекта. Объект №1 имеет диаметр 200 км и альбедо равное 0.6. Объект №2 – диаметр 300 км и альбедо 0.5. Какой из них для земного наблюдателя будет выглядеть ярче и на сколько звездных величин?
7. Часовой угол светила $t = 68^\circ$. Когда оно прошло свою ВК?
8. Часовой угол светила $t = 68^\circ$. Через какое время оно достигнет нижней кульминации?
9. Можно ли в Томске увидеть Проксиму Центавра?
10. Можно ли увидеть Проксиму Центавра в Северном полушарии. Если да, то где?
11. Определите разрешение человеческого глаза, приняв длину волн видимого излучения равной 555 нм.
12. В первоначальном проекте телескопа Хаббла предполагался размер главного зеркала 3 м. Определите его разрешение, приняв длину волн видимого излучения равно 555 нм.
13. Определите разрешение телескопа «РАТАН–600» на длине волны 18 см.
14. Каким разрешением должен обладать телескоп, чтобы с его помощью с Земли можно было увидеть Большое Красное Пятно Юпитера (его размер порядка 16 тыс км)?

При ответе на билет студент может получить по 25 баллов за каждый вопрос и задачу. Оценка снижается, если ответ не совсем верный или не полный. Баллы суммируются с баллами, полученными при текущем контроле. Для получения оценки «удовлетворительно» студент должен набрать не менее 39 баллов, «хорошо» – 58 баллов, оценка «отлично» ставится при достижении 77 баллов.

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

Задачи (ИОПК 2.2):

Задача 1

Из наблюдений известны годовые параллаксы π звезд Вега (α Lyr) $\pi = 0''.128$ и Сирius (α Can Ma) $\pi = 0''.375$. Определить расстояние до этих звезд в пк и в а.е.

Задача 2

Учёные NASA уже много лет мечтают отправить на поверхность Европы беспилотный аппарат, который смог бы подтвердить или опровергнуть гипотезу о наличии там

подповерхностного океана. Представьте, что им это удалось. Какой угловой радиус Солнца с точки зрения жителя Европы?

Задача 3

Какого углового размера видит Солнце Curiosity?

Задача 4

Путешественники заметили, что по местному времени затмение Луны началось в $5^{\text{h}}13^{\text{m}}$, тогда как по астрономическому календарю это затмение должно было состояться в $3^{\text{h}}51^{\text{m}}$ по гринвичскому времени. Какова их долгота?

Задача 5

Выразите 1 а. е. в радиусах Земли.

Ответы:

Задача 1. Вега $d=7.81$ пк = 1611445 а.е.

Сириус $d=2.67$ пк = 550040 а.е

Задача 2. 0.00089 рад = 0.05 град

Задача 3. $13'$

Задача 4. $1^{\text{h}}22^{\text{m}}$

Задача 5. 23455

Теоретические вопросы (ИПК 1.1):

1. Что такое астрометрия?

Ключ:

Возможно одно из следующих определений или аналогичное по смыслу.

Астрометрия (от др.-греч. ἄστρον — «звезда» и μέτρον — «измеряю») – это часть астрономии, которая занимается наблюдениями небесных тел и определением их положений в пространстве, а также их размеров и формы.

астрометрия – это применение некоторых методов, которые можно назвать астрометрическими методами, для определения геометрических, кинематических и динамических свойств небесных тел во Вселенной. Астрометрия - раздел науки, который изучает кинематические и геометрические характеристики Вселенной.

2. Основные задачи астрометрии

Ключ:

Реализация систем координат, т.е. привязка их к выбранным небесным телам

Реализация шкал времени (разработка часов и методов их сличения, определение единицы времени)

Измерение движения небесных тел.

3. Параллакс

Ключ: Паралла́кс (греч. παραλλάξ, от παραλλαγή, «смена, чередование») — изменение видимого положения объекта относительно удалённого фона в зависимости от положения наблюдателя.

4. Квазар

Ключ: Квазар (англ. quasar — сокращение от QUASi stellar radio source — «квазизвёздный радиоисточник») — класс внегалактических объектов, отличающихся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от «точных источников» — звёзд.

5. Основные разделы астрометрии

Ключ:

Фундаментальная астрометрия

Практическая астрометрия

Изучение вращения Земли

6. В чем отличие видимых топоцентрических, геоцентрических и гелиоцентрических положений небесных объектов?

Ключ: В положении центра

7. Почему изменяется положение земной оси в пространстве относительно звезд. Каков характер этого движения?

Ключ: Вследствие прецессии и нутации

8. Какое обозначение имеют точки осеннего и весеннего равноденствия?

Ключ: Ω , Υ

9. Физический смысл точек осеннего и весеннего равноденствия

Ключ: Пересечение эклиптики и экватора

10. Что такое кульминация светил?

Ключ: Прохождение через меридиан

11. Координаты в горизонтальной системе координат

Азимут и высота (зенитное расстояние)

12. Координаты в 1-й экваториальной системе координат

Ключ: Часовой угол и склонение

13. Координаты во 2-й экваториальной системе координат

Ключ: Прямое восхождение и склонение

14. Звездное время

Ключ: Часовой угол точки весеннего равноденствия

15. Местное истинное солнечное время

Ключ: геоцентрический часовой угол центра видимого диска Солнца плюс 12^h

16. Истинные солнечные сутки

Ключ: Промежуток времени между последовательными одноименными кульминациями центра Солнца

17. Декретное время

Ключ: Поясное время плюс один час

Информация о разработчиках

Галушина Татьяна Юрьевна, к.ф.-м.н., Томский государственный университет,
доцент