

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
МГУ  
\_\_\_\_\_/ Н.Н. Сысоев /  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**ОРИЕНТАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ В КОСМОСЕ**

---

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки:**  
03.05.01 Астрономия

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Общая специальность

---

Квалификация «Специалист»

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол №\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва 20\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Д.ф.-м.н., доцент Прохоров Михаил Евгеньевич, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор Постнов Константин Александрович

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Ориентация и навигация в космосе»**

Курс посвящен современным методам ориентации и навигации в космосе, а также их сегодняшней практической реализации. В курсе рассматриваются вопросы звездной ориентации и ее сравнения с инерциальной ориентацией, высокоточной ориентации относительно Солнца и больших планет, а также ряд других современных методов. Оцениваются возможные перспективы развития методов ориентации и навигации в ближайшие десятилетия.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Ориентация и навигация в космосе» реализуется на 5-ом курсе в 9-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

## 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Курс взаимосвязан с курсом теоретической и практической астрофизики, с курсами по приемникам излучения и астрономической оптике.

## 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<b>З-1 Знать:</b> принципы ориентации и навигации в космосе <b>З-2 Знать:</b> основные математические понятия, используемые при ориентации и навигации в космосе <b>У-1 Уметь:</b> строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе <b>У-2 Уметь:</b> планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента <b>В-1 Владеть:</b> математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе <b>В-2 Владеть:</b> методами теоретического исследования способов и приоритетов ориентации и навигации в космосе
ОПК-1.Б	<b>З-1 Знать:</b> основные математические методы, используемые при решении задач ориентации и навигации в космосе <b>У-1 Уметь:</b> решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе <b>У-2 Уметь:</b> строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе <b>В-1 Владеть:</b> навыками проведения расчетов для ориентации и навигации в космосе

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

## 4. Содержание дисциплины

### *Тема 1. Введение*

Задачи ориентации и навигации. Основные методы ориентации и навигации в космосе. Требования, предъявляемые к современным системам космической ориентации и навигации.

### *Тема 2. Ориентация относительно инерциальной системы координат*

1. Инерциальные (гироскопические) системы навигации.
2. Системы звездной ориентации.
3. Точность Звездных датчиков. Методы повышения их точности.
4. Звездные датчики для быстро вращающихся объектов.
5. Звездные датчики с быстрым опросом.
6. Алгоритмы восстановления ориентации. Отождествление звездных конфигураций в различных условиях.
7. Помехи и источники погрешностей в системах звездной ориентации.
8. Засветка звездных датчиков Солнцем. Солнечно-слепые звездные датчики.
9. Оптимальные и устойчивые конфигурации систем ориентации с несколькими звездными датчиками.
10. Комбинированные инерциально-звездные и звездно-инерциальные системы ориентации.

### *Тема 3. Определение направления на Солнце*

Солнечная ориентация. Типы солнечных датчиков. Погрешности и источники помех. Плоский фотоэлемент и система фотоэлементов. Камера обскура. Щелевые датчики. Датчики с объективом «рыбий глаз». Солнечные датчики с интерференционными элементами.

### *Тема 4. Определение направления на центр Земли*

Ориентация относительно Земли. Инфракрасные датчики, работающие по излучению Земли. Инфракрасные датчики, работающие по краю Земли. Датчик, работающий по лимбу Земли.

### *Тема 5. Направление на центр Луны*

Ориентация вокруг Луны. Особенности инфракрасного диапазона. Особенности видимого диапазона.

### *Тема 6. Определение положения космических объектов с Земли*

1. Позиционные наблюдения. Алгоритмы позиционных наблюдений. Инструменты. Влияние атмосферы.
2. Радиолокация.
3. Лазерная локация (лазерная дальнометрия). Многофотонный и однофотонный режимы локации. Отражатели и повторители, устанавливаемые на космических аппаратах.

### *Тема 7. Спутниковые системы глобального позиционирования*

Спутниковые системы глобального позиционирования. Принципы функционирования. Погрешности. Определение времени. Структура спутниковых группировок. Особенности отдельных спутниковых систем: GPS, ГЛОНАСС, Magellan, Baidou.

### *Тема 8. Навигация по объектам Солнечной системы*

Принципы навигации по объектам Солнечной системы. Источники и уровень погрешностей. Ориентация по большим планетам. Ориентация по спутникам больших планет. Ориентация по астероидам. Плотность видимого поля астероидов в разных точках Солнечной системы.

*Тема 9. Автономное определение кеплеровской орбиты*

Принцип автономного определения параметров орбиты космического аппарата в поле тяготения объекта Солнечной системы. Автономное определение траекторий межпланетных станций. Автономное определение траекторий космических аппаратов, обращающихся вокруг Земли или больших планет.

*Тема 10. Пульсарная навигация*

Рентгеновские и радиопульсары, как источники высокочастотных природных сигналов. Принципы навигации по пульсарам. Выбор диапазона наблюдений. Система NICER как прототип.

*Тема 11. Навигация по маякам*

Принципы навигации по системе маяков на поверхности планеты. Радиомаяки на Земле. Оптические маяки для Луны.

*Тема 12. Навигация при сближении с космическим объектом*

Принципы «наведения» на космических объект. Ограничения в общем случае. Ограничения при встречном сближении. Применение к проблеме астероидно-кометной опасности.

**7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоем- кость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая ауди- торная нагруз- ка	Лекций	Семинаров	
Методы внеатмосферной астрономии	2	72	36	36	0	36

**8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий**

Изучение курса «Методы внеатмосферной астрономии» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По вопросам, возникающим на лекциях и при самостоятельном изучении тем, а также по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успе- ваемости и про- межуточной ат- тестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная ра- бота	
1	<i>Введение</i>	2	2	–	–	0	Собеседование, опрос
2	<i>Ориентация относительно инерциальной системы координат</i>	10	5	–	–	5	
3	<i>Определение направления на Солнце</i>	6	3	–	–	3	
4	<i>Определение направления на центр Земли</i>	4	2	–	–	2	
5	<i>Направление на центр Луны</i>	5	3	–	–	2	
6	<i>Определение положения кос- мических объектов с Земли</i>	4	2	–	–	2	
7	<i>Спутниковые системы глобального позиционирования</i>	4	2	–	–	2	
8	<i>Навигация по объектам Солнечной системы</i>	8	4	–	–	4	
9	<i>Автономное определение кеплеровской орбиты</i>	8	4	–	–	4	
10	<i>Пульсарная навигация</i>	8	4	–	–	4	
11	<i>Навигация по маякам</i>	8	4	–	–	4	
12	<i>Навигация при сближении с космическим объектом</i>	1	1	–	–	0	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме письменной ра- боты с последу- ющим собеседо- ванием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>36</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>36</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Ориентация и навигация в космосе» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качестве участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Ориентация и навигация в космосе» проводится в десятом семестре в форме зачета. Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «зачет», «незачет». Оценка «зачет» означает успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### **10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).**

##### **Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования



## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения	
	Незачет	Зачет
ЗНАТЬ: принципы ориентации и навигации в космосе УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное знание принципов ориентации и навигации в космосе	В целом успешные, но не систематические знания принципов ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания принципов ориентации и навигации в космосе Успешные и систематические знания принципов ориентации и навигации в космосе
ЗНАТЬ: основные математические понятия, используемые при ориентации и навигации в космосе УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных математических понятий, используемых при ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое знание основных математических понятий, используемых при ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических понятий, используемых при ориентации и навигации в космосе Успешное и систематическое знание основных математических понятий, используемых при ориентации и навигации в космосе
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных математических методов, используемых при решении задач ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое знание основных математических методов, используемых при решении задач ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при решении задач ориентации и навигации в космосе Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении задач ориентации и навигации в космосе
УМЕТЬ: строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе Успешное и систематическое умение строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе

<p>УМЕТЬ: планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента УК-1.Б У-2</p>	<p>Отсутствие умения планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p> <p>Успешное и систематическое умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области ориентации и навигации в космосе, объяснять и оценивать в рамках основных физических и астрономических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p>
<p>УМЕТЬ: решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б У-1</p>	<p>Отсутствие умения решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе</p> <p>Успешное и систематическое умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе</p>
<p>УМЕТЬ: строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б У-2</p>	<p>Отсутствие умения строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе</p> <p>Успешное и систематическое умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе УК-1.Б В-1</p>	<p>Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе</p> <p>Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе</p>

ВЛАДЕТЬ: методами теоретическо- го исследова- ния способов и приоров ориентации и навигации в космосе УК-1.Б В-2	Отсут- ствие/фрагмента рное владение методами теоре- тического ис- следования спо- собов и приоров ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования способов и приоров ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования способов и приоров ориентации и навигации в космосе Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования способов и приоров ориентации и навигации в космосе
ВЛАДЕТЬ: навыками проведения расчетов для ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б В-1	Отсут- ствие/фрагмента рное владение навыками про- ведения расче- тов для ориен- тации и навига- ции в космосе	В целом успешное, но не систематическое владение навыками проведения расчетов для ориентации и навигации в космосе В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками проведения расчетов для ориентации и навигации в космосе Успешное и систематическое владение навыками проведения расчетов для ориентации и навигации в космосе

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Вопросы для тематического опроса можно найти по адресу:

<http://xray.sai.msu.ru/~mystery/courses/orient/questions.html> .

### **Примеры:**

1. Задачи ориентации и навигации. Основные методы ориентации и навигации в космосе.
2. Принцип действия современных звездных датчиков ориентации.

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

Вопросы к зачету можно найти по адресу:

<http://xray.sai.msu.ru/~mystery/courses/orient/zachet-questions.html>.

**Пример:** Инерциальные (гироскопические) системы навигации. Типы гироскопов. Уход осей гироскопов.

#### **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

Основная литература.

1. В.И. Федосеев, М.П. Колосов. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учеб. пособие. — М.: Логос, 2007. — 248 с.: ил.
2. Черемухин Г.С. Приборы ориентации на Солнце для космических аппаратов. — М.: Воентехиниздат, 2004. — 384 с.

Дополнительная литература.

1. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов / Под ред. Г.А. Аванесова, А.А. Форш, О.И. Кораблева, С.В. Воронкова, О.Я. Клименко, Е.А. Антоненко — М.: ИКИ РАН, 2009 — 580 с.
2. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов / Под ред. Г.А. Аванесова, А.А. Форш, О.И. Кораблева, С.В. Воронкова, О.Я. Клименко, Е.А. Антоненко — М.: ИКИ РАН, 2011 — 574 с.
3. А.И. Захаров, М.Е. Прохоров, М.С. Тучин. Разработка и использование высокоточных звездных датчиков ориентации нового поколения // в сборнике Инновационные решения для космической механики, физики, астрофизики, биологии и медицины / Под ред. В.А. Садовниченко, А.И. Григорьева, М.И. Панасюка — М.: МГУ, 2010 — С. 44–63.

Интернет-ресурсы.

<http://xray.sai.msu.ru/~mystery/courses/orient/>.

#### **Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Астрономия».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.