# 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 /
/ н.н. сысоев/ «
\ <u></u> "
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 №,
, <u> </u>
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.

Гол (	толы)	приема на обучен	ние	
- ~ (	10,001	iipiioma ma oo jiroi	11110	

#### 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 рад 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 ком- петенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	3-1 Знать: принципы ориентации и навигации в космосе 3-2 Знать: основные математические понятия, используемые при ориентации и навигации в космосе У-1 Уметь: строить теоретические модели методов ориентации и навигации в космосе У-2 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 В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе В-2 Владеть: методами теоретического исследования способов и приоров ориентации и навигации в космосе
ОПК-1.Б	3-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач ориентации и навигации в космосе У-1 Уметь: решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе У-2 Уметь: строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе В-1 Владеть: 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 определения траекторий межпланетных станций. Автономное определение траекторий космических аппаратов, обращающихся вокруг Земли или больших планет.

#### Тема 10. Пульсарная навигация

Рентгеновские и радиопульсары, как источники высокопериодических 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

	ΙΧ	объ	ем учебной	нагру	/зки в ак	. часах
	ікость единицах	доем-	в том ауд. з ⊥ ģ		ій	ельная дентов
НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкос в зачетных едил	Общая тру кость	Общая ауди- торная нагруз ка	Лекций	Семинаров	Самостоятельная работа студентов
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		•		Семинары Семинары Семинары		Форма текущего контроля успе- ваемости и про- межуточной ат- тестации
1	Para danna		2	На		_	
1	Введение	2	2	-	_	0	
2	Ориентация относительно инерциальной системы координат	10	5	_	_	5	
3	Определение направления на Солнце	6	3	_	_	3	
4	Определение направления на центр Земли	4	2	_	-	2	
5	Направление на центр Луны	5	3	_	_	2	
6	Определение положения кос- мических объектов с Земли	4	2	_	_	2	Собеседование,
7	Спутниковые системы глобального позиционирования	4	2	_	_	2	опрос
8	Навигация по объектам Солнечной системы	8	4	-	_	4	
9	Автономное определение кеплеровской орбиты	8	4	-	_	4	
10	Пульсарная навигация	8	4	_	_	4	
11	Навигация по маякам	8	4	_	_	4	
12	Навигация при сближении с космическим объектом	1	1	-	_	0	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме письменной ра- боты с последу- ющим собеседованием
	итого:	72	36	-	_	36	

#### 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 оце-		Представление					
ночного средства	Краткая характеристика оценочного средства	оценочного сред-					
по того средства		ства в фонде					
	Оценочные средства текущего контроля						
	Средство контроля, организованное как спе-	Перечень тем, изу-					
Тематический опрос	циальная беседа по тематике предыдущей	чаемых в рамках					
(в форме ответов на	лекции и рассчитанное на выяснение объема	дисциплины					
вопросы)	и качества знаний, усвоенных обучающимися						
	по определенному разделу, теме, проблеме.						
	Средство контроля, организованное как сво-	Перечень тем, изу-					
	бодная беседа, дискуссия по тематике изуча-	чаемых в рамках					
Собеседование	емой дисциплины, рассчитанное на выясне-	дисциплины					
(в форме беседы,	ние объема знаний обучающегося по всем						
дискуссии по теме)	изученным разделам, темам; свободного ис-						
	пользования терминологии для аргументиро-						
	ванного выражения собственной позиции.						
Оценочные средства промежуточной аттестации							
	Средство, позволяющее оценить сформиро-	Перечень вопросов					
П	ванность систематических представлений о	к зачету					
Письменная работа	методах научно-исследовательской деятель-	-					
	ности.						
	Средство, позволяющее получить экспертную	Требования к по-					
C-5	оценку знаний, умений и навыков по для	рядку проведения					
Собеседование	оценивания и анализа различных фактов и	собеседования					
	явлений в своей профессиональной области.						

### 11. Шкала оценивания.

Планируе-	Критерии оценивания результатов обучения		
мые резуль- Незачет		Зачет	
таты обуче-			
ния			
ЗНАТЬ:	Отсутствие зна-	В целом успешные, но не систематические знания	
принципы	ний или фраг-	принципов ориентации и навигации в космосе	
ориентации и	ментарное зна-	В целом успешное, но содержащее отдельные	
навигации в	ние принципов	пробелы знания принципов ориентации и навигации	
космосе	ориентации и	в космосе	
УК-1.Б 3-1	навигации в	Успешные и систематические знания принципов	
	космосе	ориентации и навигации в космосе	
ЗНАТЬ:	Отсутствие зна-	В целом успешное, но не систематическое знание	
основные ма-	ний или фраг-	основных математических понятий, используемых	
тематические	ментарное зна-	при ориентации и навигации в космосе	
понятия, ис-	ние основных	В целом успешное, но содержащее отдельные	
пользуемые	математических	пробелы знание основных математических понятий,	
при ориента-	понятий, ис-	используемых при ориентации и навигации	
ции и навига-	пользуемых при	в космосе	
ции в космосе	ориентации и	Успешное и систематическое знание основных	
УК-1.Б 3-2	навигации в	математических понятий, используемых при	
	космосе	ориентации и навигации в космосе	
ЗНАТЬ:	Отсутствие зна-	В целом успешное, но не систематическое знание	
основные ма-	ний или фраг-	основных математических методов, используемых	
тематические	ментарное зна-	при решении задач ориентации и навигации	
методы, ис-	ние основных	в космосе	
пользуемые	математических	В целом успешное, но содержащее отдельные	
при решении	методов, ис-	пробелы знание основных математических методов,	
задач ориен-	пользуемых при	используемых при решении задач ориентации и	
тации и нави-	решении задач	навигации в космосе	
гации в кос-	ориентации и	Успешное и систематическое знание основных	
мосе	навигации в	математических методов, используемых при реше-	
ОПК-1.Б 3-1	космосе	нии задач ориентации и навигации в космосе	
УМЕТЬ:	Отсутствие уме-	В целом успешное, но не систематическое умение	
строить тео-	ния строить тео-	строить теоретические модели методов ориентации	
ретические	ретические мо-	и навигации в космосе	
модели мето-	дели методов	В целом успешное, но содержащее отдельные	
дов ориента-	ориентации и	пробелы умение строить теоретические модели	
ции и навига-	навигации в	методов ориентации и навигации в космосе	
ции в космосе	космосе	Успешное и систематическое умение строить	
УК-1.Б У-1		теоретические модели методов ориентации и	
		навигации в космосе	

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	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	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  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  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
УМЕТЬ: решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе  В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе  Успешное и систематическое умение решать типовые задачи ориентации и навигации в космосе
УМЕТЬ: строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе  В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе  Успешное и систематическое умение строить математические модели методов и приборов ориентации и навигации в космосе
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе УК-1.Б В-1	Отсут- ствие/фрагмента рное владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе  В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе  Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым при ориентации и навигации в космосе

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