

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экс./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------|
| 1       | 2                      | 72                         | 16           | 16                        | 0                        |                                         | 40        | 0         | 3                                        |
| 2       | 2-3                    | 72-<br>108                 | 15           | 15                        | 0                        |                                         | 42        | 0         | Э , 3                                    |
| Итого   | 4-5                    | 144-<br>180                | 31           | 31                        | 0                        | 0                                       | 82        | 0         |                                          |

## АННОТАЦИЯ

В лекциях изложены вопросы релятивистской астрофизики звезд, находящиеся в центре современных интересов изучения строения наблюдаемой Вселенной. Рассмотрены вопросы образования и приведены свойства релятивистских объектов: белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр, а также релятивистских звездных скоплений.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины "Релятивистская астрофизика" являются освоение студентами современных математических моделей астрофизических объектов. Полученные в результате освоения данной дисциплины навыки и знания используются, при подготовке дипломных проектов, при проведении научно-поисковых исследований.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам теоретической физики, дифференциальным уравнениям, вариационному исчислению. Необходимо уметь работать с матрицами, решать дифференциальные и интегральные уравнения, знать дифференциальное и интегральное исчисление.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                                                                   | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1 [1] – Способен применять фундаментальные и прикладные знания в области физико-математических и (или) естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности | В-ОПК-1 [1] – Владеть навыками обобщения, синтеза и анализа фундаментальных знаний, для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности, владеть научным мировоззрением<br>У-ОПК-1 [1] – Уметь использовать на практике углубленные фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности.<br>З-ОПК-1 [1] – Знать фундаментальные и прикладные основы, полученные в области физико-математических и естественных наук, знать методы анализа информации для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности. |

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД)                                                                                                                                                                                                  | Объект или область знания                                                                                                                                                                                                                                                                             | Код и наименование профессиональной компетенции;<br>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)                                                                                                                                                                                                                             | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| научно-исследовательский                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| планирование и проведение теоретических исследований, разработка новых физических и математических, в том числе компьютерных, моделей изучаемых процессов и явлений, анализ и синтез данных аналитических исследований в предметной области | модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса | <p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011</p> | <p>З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ;</p> <p>У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива;</p> <p>В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                            | исследовательской группы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| планирование и самостоятельное проведение наблюдений и измерений, планирование, постановка и оптимизация проведения экспериментов в предметной области исследований, выбор эффективных методов обработки данных и их реализация | модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса | ПК-2 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 06.001, 40.008                                                                  | 3-ПК-2[1] - Знать методики оценки и выбора методов исследования.;<br>У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования;<br>В-ПК-2[1] - Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов.                                                                                                                | Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследований                                                                                                                                                                                                                       | ПК-2.6 [1] - Способен анализировать науднотехническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.078 | 3-ПК-2.6[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа науднотехнической информации для выявления естественнанаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения;<br>У-ПК-2.6[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнанаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически |

|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                              | <p>анализировать полученную информацию;</p> <p>проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-2.6[1] - Владеть: навыками поиска и анализа науднотехнической информации, выявления естественнаудной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации</p>                                                                  |
| производственно-технологический                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>разработка математических моделей, технологий для решения инженерных, технических и информационных задач</p> | <p>модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса</p> | <p>ПК-9 [1] - Способен проводить математическое и компьютерное моделирование объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 06.001, 40.011</p> | <p>З-ПК-9[1] - Знать основные методы и принципы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области. ;</p> <p>У-ПК-9[1] - Уметь применять методы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области;</p> <p>В-ПК-9[1] - Владеть навыками математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений</p> |
| экспертно-аналитический                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| планирование и проведение теоретических исследований, разработка новых физических и математических, в том числе компьютерных, моделей изучаемых процессов и явлений, анализ и синтез данных аналитических исследований в предметной области | модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса | <p>ПК-10 [1] - Способен к построению аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011</p> | <p>З-ПК-10[1] - Знать основные методы построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ;</p> <p>У-ПК-10[1] - Уметь применять методы и принципы построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе для решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера;</p> <p>В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|-------|-----------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
|       | <i>1 Семестр</i>                        |        |                                                        |                                           |                               |                                     |                                 |

|   |               |      |       |  |    |       |                                                                                                                                                            |
|---|---------------|------|-------|--|----|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Первый раздел | 1-8  | 8/8/0 |  | 25 | КИ-8  | 3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10 |
| 2 | Второй раздел | 9-16 | 8/8/0 |  | 25 | КИ-16 | 3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1,                                                                                                                                 |

|  |                                             |  |         |  |    |   |                                                                                                                                                                           |
|--|---------------------------------------------|--|---------|--|----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                             |  |         |  |    |   | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-2.6,<br>У-ПК-2.6,<br>В-ПК-2.6,<br>3-ПК-9,<br>У-ПК-9,<br>В-ПК-9,<br>3-ПК-10,<br>У-ПК-10,<br>В-ПК-10 |
|  | <i>Итого за 1 Семестр</i>                   |  | 16/16/0 |  | 50 |   |                                                                                                                                                                           |
|  | <b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b> |  |         |  | 50 | 3 | 3-ОПК-1,<br>У-ОПК-1,<br>В-ОПК-1,<br>3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-2,                                                                                              |



|   |                  |     |       |  |    |      |                                                                                                 |
|---|------------------|-----|-------|--|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                  |     |       |  |    |      | У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10 |
|   | <i>2 Семестр</i> |     |       |  |    |      |                                                                                                 |
| 1 | Первый раздел    | 1-8 | 8/8/0 |  | 25 | КИ-8 | 3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.6, У-ПК-      |

|   |               |      |       |  |    |       |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|---------------|------|-------|--|----|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |               |      |       |  |    |       | 2.6,<br>В-<br>ПК-<br>2.6,<br>3-ПК-<br>9,<br>У-<br>ПК-9,<br>В-<br>ПК-9,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10                                                                                                                     |
| 2 | Второй раздел | 9-15 | 7/7/0 |  | 25 | КИ-15 | 3-<br>ОПК-<br>1,<br>У-<br>ОПК-<br>1,<br>В-<br>ОПК-<br>1,<br>3-ПК-<br>1,<br>У-<br>ПК-1,<br>В-<br>ПК-1,<br>3-ПК-<br>2,<br>У-<br>ПК-2,<br>В-<br>ПК-2,<br>3-ПК-<br>2.6,<br>У-<br>ПК-<br>2.6,<br>В-<br>ПК-<br>2.6,<br>3-ПК-<br>9,<br>У-<br>ПК-9,<br>В- |

|  |                                             |  |         |  |    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|---------------------------------------------|--|---------|--|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                             |  |         |  |    |      | ПК-9,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10                                                                                                                                                                                                                                                |
|  | <i>Итого за 2 Семестр</i>                   |  | 15/15/0 |  | 50 |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  | <b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b> |  |         |  | 50 | Э, 3 | 3-<br>ОПК-<br>1,<br>У-<br>ОПК-<br>1,<br>В-<br>ОПК-<br>1,<br>3-ПК-<br>1,<br>У-<br>ПК-1,<br>В-<br>ПК-1,<br>3-ПК-<br>2,<br>У-<br>ПК-2,<br>В-<br>ПК-2,<br>3-ПК-<br>2.6,<br>У-<br>ПК-<br>2.6,<br>В-<br>ПК-<br>2.6,<br>3-ПК-<br>9,<br>У-<br>ПК-9,<br>В-<br>ПК-9,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК- |

|  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  | 10,<br>3-<br>ОПК-<br>1,<br>У-<br>ОПК-<br>1,<br>В-<br>ОПК-<br>1,<br>3-ПК-<br>1,<br>У-<br>ПК-1,<br>В-<br>ПК-1,<br>3-ПК-<br>2,<br>У-<br>ПК-2,<br>В-<br>ПК-2,<br>3-ПК-<br>2.6,<br>У-<br>ПК-<br>2.6,<br>В-<br>ПК-<br>2.6,<br>3-ПК-<br>9,<br>У-<br>ПК-9,<br>В-<br>ПК-9,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10 |
|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
|-------------|---------------------|

|    |                    |
|----|--------------------|
| КИ | Контроль по итогам |
| З  | Зачет              |
| Э  | Экзамен            |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недел<br>и  | Темы занятий / Содержание                                                                                                                                                                             | Лек.,<br>час.          | Пр./сем.<br>, час. | Лаб.,<br>час. |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------|
|             | <i>1 Семестр</i>                                                                                                                                                                                      | 16                     | 16                 | 0             |
| <b>1-8</b>  | <b>Первый раздел</b>                                                                                                                                                                                  | 8                      | 8                  | 0             |
| 1 - 2       | <b>1. Равновесие и устойчивость звезд: политропные модели.</b><br>1. Равновесие и устойчивость звезд: политропные модели.                                                                             | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 2                      | 2                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 3 - 4       | <b>2. Белые карлики и нейтронные звезды</b><br>2. Белые карлики и нейтронные звезды                                                                                                                   | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 2                      | 2                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 5           | <b>3. Черные дыры: решения Шварцшильда и Керра.</b><br>3. Черные дыры: решения Шварцшильда и Керра.                                                                                                   | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 2                      | 2                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 6           | <b>4. Аккреция на черные дыры: сферически симметричный случай.</b><br>4. Аккреция на черные дыры: сферически симметричный случай.                                                                     | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 1                      | 1                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 7 - 8       | <b>5. Дискковая аккреция на черные дыры</b><br>5. Дискковая аккреция на черные дыры                                                                                                                   | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 1                      | 1                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| <b>9-16</b> | <b>Второй раздел</b>                                                                                                                                                                                  | 8                      | 8                  | 0             |
| 9           | <b>6. Аккреция газа с крупномасштабным магнитным полем на черные дыры</b><br>6. Аккреция газа с крупномасштабным магнитным полем на черные дыры                                                       | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 2                      | 2                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 10 - 11     | <b>7. Наблюдения релятивистских объектов: белые карлики, радиопульсары, рентгеновские источники.</b><br>7. Наблюдения релятивистских объектов: белые карлики, радиопульсары, рентгеновские источники. | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 2                      | 2                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 12          | <b>8. Аккреция на нейтронные звезды.</b><br>8. Аккреция на нейтронные звезды.                                                                                                                         | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 1                      | 1                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 13          | <b>9. Радиопульсары.</b><br>9. Радиопульсары.                                                                                                                                                         | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 1                      | 1                  | 0             |
|             |                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0                  | 0             |
| 14          | <b>10. Релятивистские звездные скопления.</b><br>10. Релятивистские звездные скопления.                                                                                                               | Всего аудиторных часов |                    |               |
|             |                                                                                                                                                                                                       | 1                      | 1                  | 0             |

|         |                                                                                                                                                                                                 |                        |    |   |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----|---|
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 15 - 16 | <b>11. Эволюция массивных звезд и сверхновые.</b><br>11. Эволюция массивных звезд и сверхновые.                                                                                                 | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
|         | 2 Семестр                                                                                                                                                                                       | 15                     | 15 | 0 |
| 1-8     | <b>Первый раздел</b>                                                                                                                                                                            | 8                      | 8  | 0 |
| 1 - 2   | <b>1. Однородные космологические модели.</b><br>1. Однородные космологические модели.                                                                                                           | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 2                      | 2  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 3       | <b>2. Ранние стадии расширения вселенной: бариогенезис. и нуклеосинтез.</b><br>2. Ранние стадии расширения вселенной: бариогенезис. и нуклеосинтез.                                             | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 2                      | 2  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 4       | <b>3. Гравитационная неустойчивость: модели Джинса и Боннора.</b><br>3. Гравитационная неустойчивость: модели Джинса и Боннора.                                                                 | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 2                      | 2  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 5 - 6   | <b>4. Нелинейная стадия роста возмущений во вселенной</b><br>4. Аккреция на черные дыры: сферически симметричный случай.                                                                        | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 7 - 8   | <b>5. Флуктуации реликтового излучения и определение глобальных параметров вселенной.</b><br>5. Флуктуации реликтового излучения и определение глобальных параметров вселенной.                 | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 9-15    | <b>Второй раздел</b>                                                                                                                                                                            | 7                      | 7  | 0 |
| 9 - 10  | <b>6. Космомикрофизика. Ограничения на массу покоя нейтрино. Темная материя и темная энергия.</b><br>6. Космомикрофизика. Ограничения на массу покоя нейтрино. Темная материя и темная энергия. | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 2                      | 2  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 11 - 12 | <b>7. Фоновые составляющие вселенной.</b><br>7. Фоновые составляющие вселенной.                                                                                                                 | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 13      | <b>8. Связь вселенных Фридмана и де Ситтера. Свойства скалярных полей.</b><br>8. Связь вселенных Фридмана и де Ситтера. Свойства скалярных полей.                                               | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 14      | <b>9. Очень ранняя вселенная: доменные стенки, струны, ёжики, монополи и текстуры.</b><br>9. Очень ранняя вселенная: доменные стенки, струны, ёжики, монополи и текстуры.                       | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 14      | <b>10. Релятивистские звездные скопления.</b><br>10. Релятивистские звездные скопления.                                                                                                         | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 1  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0  | 0 |
| 15      | <b>10. Модели инфляции и формирование начального</b>                                                                                                                                            | Всего аудиторных часов |    |   |

|  |                                                                                                                     |        |   |   |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|
|  | <b>спектра возмущений плотности.</b><br>10. Модели инфляции и формирование начального спектра возмущений плотности. | 1      | 1 | 0 |
|  |                                                                                                                     | Онлайн |   |   |
|  |                                                                                                                     | 0      | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование              |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК          | Электронный курс                 |
| ПМ          | Полнотекстовый материал          |
| ПЛ          | Полнотекстовые лекции            |
| ВМ          | Видео-материалы                  |
| АМ          | Аудио-материалы                  |
| Прз         | Презентации                      |
| Т           | Тесты                            |
| ЭСМ         | Электронные справочные материалы |
| ИС          | Интерактивный сайт               |

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные и современные образовательные технологии: лекции (с визуализацией), семинарские занятия с разбором задач и примеров, текущие домашние задания .

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) | Аттестационное мероприятие (КП 2) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ОПК-1       | З-ОПК-1             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | У-ОПК-1             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | В-ОПК-1             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
| ПК-1        | З-ПК-1              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | У-ПК-1              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | В-ПК-1              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
| ПК-10       | З-ПК-10             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | У-ПК-10             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | В-ПК-10             | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
| ПК-2        | З-ПК-2              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | У-ПК-2              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | В-ПК-2              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
| ПК-9        | З-ПК-9              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | У-ПК-9              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |
|             | В-ПК-9              | З, КИ-8, КИ-16                    | З, Э, КИ-8, КИ-15                 |

|        |          |                |                   |
|--------|----------|----------------|-------------------|
| ПК-2.6 | В-ПК-2.6 | 3, КИ-8, КИ-16 | 3, Э, КИ-8, КИ-15 |
|        | З-ПК-2.6 | 3, КИ-8, КИ-16 | 3, Э, КИ-8, КИ-15 |
|        | У-ПК-2.6 | 3, КИ-8, КИ-16 | 3, Э, КИ-8, КИ-15 |

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 90-100       | 5 – «отлично»                 | A           | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.                                     |
| 85-89        | 4 – «хорошо»                  | B           | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.                                                                                                                                         |
| 75-84        |                               | C           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 70-74        |                               | D           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 65-69        | 3 – «удовлетворительно»       | E           | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.                                        |
| 60-64        |                               |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ниже 60      | 2 – «неудовлетворительно»     | F           | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ



## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С 90 Звезды : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
2. ЭИ С 55 Собрание трудов Т. 2 Космическая радиофизика и радиоастрономия, : , 2009
3. ЭИ Л 84 Физическая космология : , Москва: Физматлит, 2012

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 52 Б65 Релятивистская астрофизика и физическая космология : , Г. С. Бисноватый-Коган, Москва: КРАСАНД, 2011

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала.

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой почти бесполезно только читать предложенный материал. Следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала. Все, что осталось

непонятым, следует спросить у преподавателя на ближайшем занятии. Если даже целый раздел остался неясным, это не показатель ваших способностей; скорее всего вы еще не начали задавать вопросы себе и другим. А изучить теоретическую физику без вопросов: зачем?, почему?, откуда? — невозможно. То же касается и разбора лекционного материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач.

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям, данным выше. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами.

Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.

Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.

Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.

Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.

Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задач принесет наибольшую пользу только в том случае, если вы решаете задачи самостоятельно. Решить задачу без помощи, без подсказки часто бывает нелегко и не всегда удается. Но даже не увенчавшиеся успехом попытки найти решение, если они предпринимались достаточно настойчиво, приносят ощутимую пользу, так как развивают мышление и укрепляют волю. Не следует бояться непривычно длинных математических выкладок, т.к. подобные «длинные» задачи приближены к реальным задачам, с которыми вы можете столкнуться в будущем в научной или другой работе.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам.

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и

математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Никаких особых требований к оформлению работ нет. Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя прослушанный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу. Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в творческий процесс освоения учебного материала: опрос студентов по содержанию прочитанных лекций, вызов студентов к доске для решения текущих задач, самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения, показ преподавателем на доске решения типовых задач, самостоятельные работы.

Организация контроля

Контроль знаний осуществляется и путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет/экзамен.

Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к аттестации необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время аттестации студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Бисноватый-Коган Геннадий Семенович, д.ф.-м.н.,  
профессор

Рецензент(ы):

Попруженко С.В.

