

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(САО РАН)

**ПРИНЯТО**

решением Ученого совета  
САО РАН № 404  
от «20» июня 2022 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор САО РАН,  
\_\_\_\_\_ / Г.Г. Валявин /  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «ПРАКТИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ БЛИЖНЕЙ  
ВСЕЛЕННОЙ»

Научная специальность 1.3.1. ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ

Объем занятий: Итого 36 ч. 2/3 нед.

Из них:

Лекций 12 ч.

Практических занятий 11 ч.

Самостоятельной работы 13 ч.

п. Нижний Архыз 2022

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 года № 951, утвержденной Программой кандидатского экзамена по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, принятой на заседании Ученого совета САО РАН.

Автор: кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории внегалактической астрофизики и космологии М.Е. Шарина.

## **1. Общие положения**

С помощью данного курса будущие исследователи знакомятся с областью современной астрофизики, изучающей строение и эволюцию ближней Вселенной в пределах примерно 20 Мпк, способами определения физических и химических характеристик галактик и представителей их населений: звезд и звездных скоплений. В результате прослушивания лекций и выполнения практических работ аспиранты становятся специалистами в области спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов, учатся определять их структурные, фотометрические, эволюционные и химические параметры с помощью специальных разработанных для этого методов и программного обеспечения. Начинающие исследователи учатся самостоятельно анализировать полученные результаты и зависимости между ними с помощью имеющихся в литературе и собственных разрабатываемых в процессе занятий подходов и методов.

Выработка понимания сложившейся в современной астрофизике методики определения расстояний является одной из основных задач современной системы астрономического образования. Данная методика разрабатывается в лаборатории внегалактической астрофизики и космологии в САО РАН начиная с 1986 года и была с успехом применена для сотен галактик в пределах 10 Мпк.

С созданием новых крупных оптических телескопов, с применением адаптивной оптики, а также запуском космических телескопов, пределы применения изучаемых методик будут расти. Фотометрические и спектральные методы будут с успехом применяться для изучения структуры и эволюции Вселенной во все более и более широких масштабах до всё больших расстояний. Спецкурс знакомит начинающего ученого с основными понятиями и методами исследования, применяемыми в данной области. Работа с цифровыми изображениями происходит с помощью современных специально разработанных для этого пакетов астрономических программ. Во время практических занятий аспирант работает с реальными астрономическими изображениями, полученными на 6-м телескопе РАН и других крупных телескопах мира.

Дисциплина «Практическая космология Ближней Вселенной» – 2.1.14. (Ф) относится к факультативным дисциплинам образовательного компонента.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Практическая космология Ближней Вселенной», являются базовые дисциплины бакалавриата, магистратуры и специалитета, и элективные дисциплины – 2.1.4. «Ближняя Вселенная», 2.1.6. «Компьютерная обработка результатов измерений» и 2.1.7. «Астрономические светоприемники».

Дисциплина «Практическая космология Ближней Вселенной» логически, содержательно и методически связана с последующими компонентами программы аспирантуры – 1.1. «Научная деятельность, направленная на подготовку диссертации на соискание научной степени кандидата наук к защите», 1.2. «Подготовка публикаций и (или) заявок на патенты на изобретения, полезные модели, свидетельства о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин, баз данных», 2.2. «Практика», 3. «Итоговая аттестация».

**2. Планируемые результаты освоения дисциплины, соотнесённые с планируемыми результатами освоения программы**

| № п/п                           | Результаты освоения дисциплины  | Результаты освоения программы |
|---------------------------------|---|-------------------------------|
| <b>Аспирант должен знать:</b>   |   |                               |
| 1.                              | фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  | РД-1                          |
| 2.                              | порядки численных величин, характерных для различных разделов физики;   | РД-1                          |
| 3.                              | современные проблемы физики, астрономии, астрофизики, космологии, математики;   | РД-1, РД-2                    |
| 4.                              | механизмы изучения и явлений, наблюдаемых при помощи телескопов разных диапазонов длин волн;  | РД-1, РД-2                    |
| 5.                              | экспериментальные основы оптической и радиоастрономии.  | РД-1                          |
| <b>Аспирант должен уметь:</b>   |   |                               |
| 6.                              | пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;  | РД-1, РД-2                    |
| 7.                              | делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  | РД-1, РД-2                    |
| 8.                              | производить численные оценки по порядку величины;   | РД-1                          |
| 9.                              | делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  | РД-1, РД-2                    |
| 10.                             | видеть физическое содержание в наблюдаемых в космическом пространстве явлениях;   | РД-1, РД-2                    |
| 11.                             | осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;   | РД-4                          |
| 12.                             | получать значения измеряемых величин астрофизических объектов и правильно оценить степень их достоверности;                                 | РД-1, РД-2, РД-4              |
| 13.                             | эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов. | РД-1, РД-2, РД-4              |
| <b>Аспирант должен владеть:</b> |   |                               |
| 14.                             | навыками освоения большого объема информации;   | РД-1, РД-2                    |
| 15.                             | навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  | РД-1, РД-2                    |
| 16.                             | культурой постановки и моделирования астрофизических задач;   | РД-1, РД-2                    |

|     |  |                  |
|-----|--|------------------|
| 17. | навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;                       | РД-1, РД-2, РД-4 |
| 18. | навыками математической статистики и гармонического анализа;   | РД-1             |
| 19. | навыками анализа систематических ошибок в наблюдениях, связанных со свойствами телескопов и методов обработки. | РД-1, РД-2, РД-4 |

### 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 1/3 недели (72 часа).

| № п/п | Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание   | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) |              |           | Формы контроля успеваемости        |
|-------|---|---|--------------|-----------|------------------------------------|
|       |   | Лек.  | Практ. зан-я | Сам. раб. |                                    |
| 1.    | Принципы астрономических наблюдений, выполняемых с целью получения фотометрических и спектральных данных о внегалактических объектах.   | 1   | 1            | 1         | текущий контроль                   |
| 2.    | Методы первичной обработки и последующего анализа фотометрических и спектральных данных с применением астрономических пакетов программ.   | 1   | 1            | 2         | текущий контроль                   |
| 3.    | Поверхностная фотометрия. Моделирование профилей поверхностной яркости. Определение фотометрических и структурных свойств галактик.   | 2   | 2            | 2         | текущий контроль                   |
| 4.    | Звездный состав галактик и звездных скоплений. Анализ диаграммы «Цвет – звездная величина». Сравнение интегральных цветов звездных скоплений с модельными.  | 2   | 2            | 2         | текущий контроль                   |
| 5.    | Длиннощелевая спектроскопия галактик и звездных скоплений; определение их усредненного возраста и химического состава с применением модельных спектров.   | 2   | 2            | 2         | текущий контроль                   |
| 6.    | Природа зависимостей между наблюдаемыми характеристиками галактик: соотношений фундаментальной плоскости (Талли-Фишера, Фабер-Джексона, Корменди), масса-светимость, масса-металличность, поверхностная плотность - размер. | 2   | 2            | 2         | текущий контроль                   |
| 7.    | Методы определения расстояний до галактик с помощью подсчетов и измерения яркости звезд и звездных скоплений в  | 2   | 1            | 2         | текущий контроль<br>итоговый зачет |

| № п/п         | Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание   | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) |             |             | Формы контроля успеваемости |
|---------------|---|---|-------------|-------------|-----------------------------|
|               | исследуемых объектах: ярчайших сверхгигантов, флуктуаций поверхностной яркости, Фабер-Джексона, функции светимости шаровых скоплений, функции светимости планетарных туманностей. |   |             |             |                             |
| <b>Итого:</b> |   | <b>12 ч</b>   | <b>11 ч</b> | <b>13 ч</b> | <b>36 ч</b>                 |

#### 4. Наименование и содержание практических занятий

| № п/п | Наименование работы   | Кол-во часов | Форма проведения   |
|-------|---|--------------|--|
| 1.    | Тема 1. Принципы астрономических наблюдений, выполняемых с целью получения фотометрических и спектральных данных о внегалактических объектах.   | 1            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 2.    | Тема 2. Методы первичной обработки и последующего анализа фотометрических и спектральных данных с применением астрономических пакетов программ (MIDAS, IRAF и др. ).  | 1            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 3.    | Тема 3. Поверхностная фотометрия. Моделирование профилей поверхностной яркости. Определение фотометрических и структурных свойств галактик.   | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 4.    | Тема 4. Звездный состав галактик и звездных скоплений. Анализ диаграммы «Цвет – звездная величина». Сравнение интегральных цветов звездных скоплений с модельными.  | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 5.    | Тема 5. Длиннощелевая спектроскопия галактик и звездных скоплений; определение их усредненного возраста и химического состава с применением модельных спектров.   | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 6.    | Тема 6. Природа зависимостей между наблюдаемыми характеристиками галактик: соотношений фундаментальной плоскости (Талли-Фишера, Фабер-Джексона, Корменди), масса-светимость, масса-металличность, поверхностная плотность - размер. | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                 |
| 7.    | Тема 7. Методы определения расстояний до галактик с помощью подсчетов и измерения яркости звезд и звездных скоплений в исследуемых объектах:  | 1            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос, итоговый зачет |

|               |   |             |  |
|---------------|---|-------------|--|
|               | ярчайших сверхгигантов, флуктуаций поверхностной яркости, Фабер-Джексона, функции светимости шаровых скоплений, функции светимости планетарных туманностей. |             |  |
| <b>Итого:</b> |   | <b>11 ч</b> |  |

## 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация

### 5.1. Форма проведения текущего контроля успеваемости

Текущий контроль осуществляется по результатам работы на практических занятиях. Промежуточный контроль – быстрый опрос на лекциях.

Текущий контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

Итоговый зачет проводится в рамках промежуточной аттестации.

Перед итоговым зачетом по дисциплине аспиранту необходимо полностью выполнить практические работы по дисциплине. При наличии задолженностей по практическим работам аспирант к итоговому зачету не допускается.

### 5.2. Форма проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме итогового зачета по дисциплине. Итоговый зачет по дисциплине предусмотрен в устной форме.

Оценивание знаний обучающегося происходит по результатам устного ответа на два вопроса из перечня. На подготовку к ответу отводится 30 минут. При подготовке к ответу аспиранту предоставляется право пользования программой дисциплины.

Итоговый контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

При сдаче итогового зачета по дисциплине отметка «зачет» выставляется, если аспирант демонстрирует знание основного материала, излагает его, применяет теоретические положения при решении практических задач.

Отметка «незачет» выставляется в случае, если аспирант не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки в изложении основного материала, не может увязывать теорию с практикой.

### 5.3. Вопросы к зачету

1. Дать определения понятиям: качество звездных изображений, яркость ночного неба, воздушная масса, атмосферная экстинкция, пределы обнаружения, отношение сигнал-шум.
2. Из каких составляющих состоит сигнал от фона неба на ПЗС снимке и как вычислить уровень фона неба в процессе фотометрии?
3. От каких факторов зависят «диаметры» звездных или протяженных объектов на ПЗС снимках и как правильно выбрать апертуру фотометрии?
4. Перечислите виды фотометрических систем.
5. Что такое спектральные индексы в решении каких астрофизических задач они наиболее эффективны?
6. Дайте характеристику известных вам моделей звездных населений, применяемых для определения масс, возраста и металличности: 1) звезд в галактиках с помощью диаграммы «Цвет – звездная величина», 2) звездных скоплений с помощью интегральных цветов и спектральных индексов, 3) звезд и звездных скоплений с помощью спектров этих объектов.
7. Приведите примеры и попытайтесь объяснить природу корреляций между наблюдаемыми параметрами галактик: масса-светимость, масса-металличность,

поверхностная плотность - размер, светимость - размер - дисперсия скоростей (или скорость вращения).

8. Какова природа зависимости между светимостью ярчайших голубых и красных сверхгигантов и светимостью родительской галактики?

9. Объясните методы определения расстояний до галактик с помощью 1) флуктуаций поверхностной яркости, 2) соотношений фундаментальной плоскости (Талли-Фишера, Фабер-Джексона, Корменди), функций светимости шаровых скоплений и планетарных туманностей. Каковы точности определения расстояния до галактик этими методами?

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Перечень основной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, «Строение и эволюция Вселенной», М.: Наука (1975).
2. Ф.Дж. Пиблс, «Структура Вселенной в больших масштабах» М.: Мир (1983).
3. Г. Уокер, «Астрономические наблюдения». М.: Мир (1990).
4. А.В. Миронов, Основы астрофотометрии. Практические основы высокоточной фотометрии и спектрофотометрии звезд, Учебное пособие, М. : МГУ (2005).
5. А.В. Миронов, Прецизионная фотометрия, М.: МГУ - ГАИШ (1997), (<http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/index.html#Contents>).
6. В.П. Решетников «Поверхностная фотометрия галактик», СПбГУ (2002), (<http://www.astronet.ru/db/msg/1166765>)
7. G.H. Jacoby, et al., «A Critical Review of Selected Techniques for measuring Extragalactic Distances», PASP 104, 599 (1992) ([https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Jacoby/Jacoby\\_abstract.html](https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Jacoby/Jacoby_abstract.html)).
8. I.D. Karachentsev, N.A. Tikhonov, «New photometric distances for dwarf galaxies in the Local Volume», A&A 286, 718 (1994).
9. L. Rizzi, R.B. Tully, D.I. Makarov, L.N. Makarova, A.E. Dolphin, S. Sakai, Shaya E.J., «Tip of the Red Giant Branch Distances. II. Zero-Point Calibration», ApJ, 661, 815 (2007).
10. М. Е. Шарина, В. В. Шиманский, Н. Н. Шиманская, «Анализ Интегральных Спектров Галактических Шаровых Скоплений», Астрофизический Бюллетень, 75, No 3, с. 282 (2020) (<https://www.sao.ru/Doc-k8/Science/Public/Bulletin/Vol75/N3/ASPB282.pdf> ).
11. А.С. Расторгуев «Шкала расстояний во Вселенной», <http://www.astronet.ru/db/msg/1171218>
12. М.Е. Шарина «Фотометрия разрешенных на звезды галактик и определение расстояний до них», методическое пособие: [http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/met\\_izd.html](http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/met_izd.html)

### **6.2. Перечень дополнительной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины**

1. А.Ю. Князев Стандартная система редукции астрономических данных MIDAS: <http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Knyazev/> .
2. Пособие Вольновой А.А. и Шульги А.П. на основе документа Дж. Валавендера «Introduction to IRAF»: <http://www.astronet.ru/db/msg/1216409> .
3. W. Carney, Star Clusters, Saas-Fee Advanced Courses, Vol. 28: Stellar Evolution in Globular Clusters (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001) p. 1.
4. D. Makarov, P. Prugniel, N. Terekhova, H. Courtois, I. Vauglin, «HyperLEDA. III. The catalogue of extragalactic distances», A&A 570,13 (2014)
5. G.S. Anand, R.B. Tully, L. Rizzi, A.G. Riess, W. Yuan, «Comparing Tip of the Red Giant Branch Distance Scales: An Independent Reduction of the Carnegie-Chicago Hubble Program and the Value of the Hubble Constant», ApJ 932, 15 (2022).
6. E. Kourkchi et al., «Cosmicflows-4: The Calibration of Optical and Infrared Tully–Fisher Relations», ApJ 896, 3 (2020).
7. J. P. Greco, P. van Dokkum, S. Danieli, S.G. Carlsten, C. Conroy, «Measuring Distances to

- Low-luminosity Galaxies Using Surface Brightness Fluctuations», ApJ 908, 24 (2021).
8. M. Romaniello et al., «The iron and oxygen content of LMC Classical Cepheids and its implications for the extragalactic distance scale and Hubble constant», A&A, 658, 29 (2022).
  9. M. Della Valle, L. Izzo, «Observations of galactic and extragalactic novae», The Astronomy and Astrophysics Review, Vol. 28, 3 (2020).
  10. J. Roman, M.A. Beasley, T. Ruiz-Lara, D. Valls-Gabaud, «Discovery of a red ultra-diffuse galaxy in a nearby void based on its globular cluster luminosity function», MNRAS 486, 823 (2019).
  11. M. E. Sharina et al., «Photometric properties of the Local Volume dwarf galaxies», MNRAS, 384, 1544 (2008).
  12. M. E. Sharina, V. V. Shimansky and A. Y. Kniazev, «Nuclei of dwarf spheroidal galaxies KKs 3 and ESO 269–66 and their counterparts in our Galaxy», MNRAS 471, 1955 (2017).
  13. Н. Р. Аракелян, С. В. Пилипенко, М. Е. Шарина «Шаровые скопления, потерянные сфероидальной карликовой галактикой в Стрельце», Астрофизический Бюллетень, 75, No 4, с. 444 (2020) (<https://www.sao.ru/Doc-k8/Science/Public/Bulletin/Vol75/N4/ASPB444.pdf>).
  14. D.A. Forbes et al., «Globular cluster formation and evolution in the context of cosmological galaxy assembly: open questions», Proceedings of the Royal Society A, 474, Issue 2210, id.20170616 (2018), <https://doi.org/10.1098/rspa.2017.0616>
  15. L. Makarova, «Multi-colour photometry of nearby dwarf galaxies», Astronomy and Astrophysics Supplement, 139, 491 (1999).
  16. Сборник статей по основным проблемам астрофизики: «A Knowledgebase for Extragalactic Astronomy and Cosmology»: <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/>

### **6.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

- База данных о галактиках Местного Объема: <http://www.sao.ru/lv/lvgdb/>
- Астрономическая база данных SIMBAD: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- База данных по изучению физики галактик: <http://leda.univ-lyon1.fr/>
- База данных по внегалактическим объектам: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- Астрофизическая информационная система ADS - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- Звёздный каталог VIZIER - <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- Цифровой обзор неба DSS - <http://archive.eso.org/dss/dss>
- Цифровой обзор неба SDSS - <http://www.sdss.org/>
- MAST: Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes - <https://archive.stsci.edu/>
- SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS), a digital library portal for researchers in astronomy and physics, operated by the Smithsonian Astrophysical Observatory - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>

### **7. Перечень информационных технологий, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, профессиональных баз данных**

Пакеты программ для анализа астрономических цифровых изображений и спектров:

- MIDAS (European Southern Observatory Munich Image Data Analysis System, <https://www.eso.org/sci/software/esomidass/>),
- IRAF (Image Reduction and Analysis Facility, <https://iraf.net/irafdocs/>),
- ULySS (University of Lyon Spectroscopic analysis Software, <http://ulyss.univ-lyon1.fr/>).

### **8. Материально-техническое обеспечение**

- экран;
- мультимедийный проектор;
- компьютер;
- выход в Интернет САО РАН в лабораторных корпусах;



- сервер общего доступа для обработки и хранения данных;
- текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки САО РАН;
- оборудование научно-исследовательских лабораторий САО РАН.

## **9. Особенности освоения дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких аспирантов.

Адаптированная рабочая программа входит в структуру адаптированной программы аспирантуры, которая разрабатывается под потребности конкретного обучающегося по его личному заявлению или решению комиссии по определению вида инклюзии и условий обучения сразу после зачисления такого аспиранта на 1 курс.

Порядок разработки адаптированной рабочей программы определяется локальным нормативным актом.