

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 № 445  
от «06» мая 2026 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. директора САО РАН,  
\_\_\_\_\_/ Г.Г. Валявин /  
« 06 » августа 2026 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СВЕТОПРИЕМНИКИ»

Научная специальность 1.3.1. ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ

Объем занятий: Итого 36 ч. 2/3 нед.

Из них:

Лекций 8 ч.

Практических занятий 14 ч.

Самостоятельной работы 14 ч.

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 технических наук, научный сотрудник лаборатории физики оптических транзиентов Э.В. Емельянов.

## 1. Общие положения

Задачей курса «Астрономические светоприемники» является формирование у аспирантов научной специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия» теоретических знаний об актуальной регистрирующей аппаратуре в области оптического диапазона и ближних ИК и УФ, а также практических умений работы с ПЗС-светоприемниками и основ предварительной обработки полученных изображений.

В процессе изучения курса аспирант ознакомится с принципом действия одно- и многоканальной светопринимающей аппаратуры: болометров, фотодиодов, ФЭУ, телевизионных трубок, ЭОП, ПЗС, КПА, КМОП-матриц и т. п. с уделением повышенного внимания современным светоприемникам. Теоретические знания о физических принципах работы наиболее распространенных типов светоприемников необходимы для понимания причин возникновения различного вида шумов при регистрации сигнала, что в свою очередь необходимо для разработки методов обработки полученных данных.

На практических занятиях аспирант овладеет технологией аттестации светоприемника и получения его базовых характеристик, а также методикой обработки «сырых» данных для получения научно значимых результатов; научится получать и обрабатывать любительские снимки участков неба для получения красочных изображений, а также простейшей астрометрии. Также аспирант научится разрабатывать математические модели процессов регистрации астрономических изображений, расширит свои познания в области использования пакетов математического моделирования и прикладного программирования.

Дисциплина «Астрономические светоприемники» – 2.1.7. относится к элективным дисциплинам образовательного компонента.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Астрономические светоприемники», являются базовые дисциплины бакалавриата, магистратуры и специалитета.

Дисциплина «Астрономические светоприемники» 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 государственную регистрацию результатов интеллектуальной деятельности, предусмотренных абзацами первым и третьим пункта 12<sup>1</sup> Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842», 2.1.3. «Физика космоса, астрономия», 2.1.1. (Ф) «Акреционные диски в астрофизике», 2.1.3. (Ф) «Ближние карликовые галактики: фотометрия и звездообразование», 2.1.4. (Ф) «Интерферометрические методы в спектроскопии звезд», 2.1.5. (Ф) «Интерферометрия астрономических объектов», 2.1.6. (Ф) «Использование MATLAB в астрономии», 2.1.7. (Ф) «Исследования звездного магнетизма», 2.1.8. (Ф) «История астрономической спектроскопии», 2.1.9. (Ф) «Лабораторная и астрономическая спектроскопия с высоким и средним разрешением»,

2.1.10. (Ф) «Методы панорамной спектроскопии», 2.1.11. (Ф) «Наблюдательные проявления релятивистских объектов в оптическом диапазоне», 2.1.14. (Ф) «Практическая космология Ближней Вселенной», 2.1.15. (Ф) «Современная галактическая радиоастрономия», 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.                              | физический принцип работы наиболее распространенных видов светопринимающей аппаратуры;       | РД-3, РД-4                    |
| 2.                              | основные источники шумов при регистрации астрономических изображений и методы борьбы с ними. | РД-4                          |
| <b>Аспирант должен уметь:</b>   |                                                                                              |                               |
| 3.                              | получать основные данные с помощью светопринимающей аппаратуры;                              | РД-4, РД-5                    |
| 4.                              | обрабатывать изображения, полученные при помощи ПЗС-матриц.                                  | РД-5                          |
| <b>Аспирант должен владеть:</b> |                                                                                              |                               |
| 5.                              | основными видами вычислений в среде MatLab и/или открытых аналогах.                          | РД-4                          |

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2/3 недели (36 часов).

| № 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.            | Одноканальные светоприемники.                                      | 2                                                                                       | 2            | 2           | текущий контроль                 |
| 2.            | Усилители сигнала (ЭОП); телевизионные светоприемники.             | 2                                                                                       |              | 2           |                                  |
| 3.            | Фотодиодные светоприемники, координатно-чувствительные устройства. | 2                                                                                       | 2            | 2           | текущий контроль                 |
| 4.            | Матричные полупроводниковые светоприемники: ПЗС и КМОП             | 2                                                                                       | 10           | 8           | текущий контроль, итоговый зачет |
| <b>Итого:</b> |                                                                    | <b>8 ч</b>                                                                              | <b>14 ч</b>  | <b>14 ч</b> | <b>36 ч</b>                      |

#### 4. Наименование и содержание практических занятий

| № п/п  | Наименование работы                                                        | Кол-во часов | Форма проведения                                               |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|
| 1.     | Тема 1. Одноканальные светоприемники.                                      | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                   |
| 2.     | Тема 3. Фотодиодные светоприемники, координатно-чувствительные устройства. | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                   |
| 3.     | Тема 4. Матричные полупроводниковые светоприемники: ПЗС и КМОП.            | 10           | разноуровневые индивидуальные задания, опрос<br>итоговый зачет |
| Итого: |                                                                            | 14 ч         |                                                                |

#### 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. Какие виды одноканальных светоприемников вы знаете?
2. Перечислите основные недостатки ФЭУ.
3. Какие виды многоканальных светоприемников вы знаете?
4. Опишите физический принцип работы болометра.
5. Опишите физический принцип работы телевизионной трубки.
6. Опишите физический принцип работы фотодиода.
7. Опишите физический принцип работы ЭОП на МКП.

8. Опишите физический принцип работы КПА.
9. Опишите физический принцип работы ПЗС и КМОП матриц.
10. Какие виды шумов присущи ФЭУ в различных режимах работы?
11. Какие виды шумов присущи ПЗС?
12. Какие виды шумов присущи КМОП-матрицам?
13. Какие факторы влияют на отношение сигнал/шум для ПЗС?
14. Перечислите основные недостатки ПЗС и КМОП-матриц.
15. Опишите методы обработки одиночного изображения.
16. Опишите методы обработки серии изображений одного и того же объекта.
17. Можно ли использовать для фотометрии и спектроскопии светоприемники потребительского класса?
18. Можно ли использовать светоприемники потребительского класса для астрометрии?

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

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

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов. / Гусев В.Г., Гусев Н.М. – Изд. 5-е, стер. М.: Высш. шк., 2008, 797с.
2. Современная астрометрия. / Ковалевский Ж., Жаров В.Е. – Фрязино: Век 2, 2004, 478с.
3. Ipson S. S. et al. Visions and image sensors. – CRC Press LLC, 1999.
4. McLean, I. S. Electronic imaging in astronomy. Detectors and instrumentation / I. S. McLean. – 2nd edition. – Springer-Praxis, 2008. – Electronic imaging in astronomy. Detectors and instrumentation (Second edition), Publisher: Springer, 2008, 576 p. Series Springer-PRAXIS books in astronomy and planetary sciences. Published in association with Praxis Publishing, Chichester. ISBN 978-3-540-76582-0.
5. Scientific Detectors for Astronomy 2005 / Ed. by J. E. Beletic, J. W. Beletic, P. Amico. – 2006, 825p.
6. Вишневский Г. И., Булгаков А. Г., Выдревич М. Г. Матрицы приборов с зарядовой связью // Электронная промышленность. – 1992. – Т. 2. – С. 37.
7. G.H. Rieke. Detection of Light. Cambridge University Press; 3rd edition, 2021. ISBN: 9781107124141.

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

1. W. Romanishin. An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs. – 2006, 175p.
2. Asano A. MOS sensors continue to improve their image // Advanced Imaging. – 1989. – Vol. 11. – P. 42–44.
3. Boyle W. S., Smith G. E. Charged coupled semiconductor devices // Bell System Technical Journal. – 1970 – Vol. 49. – P. 587–593.
4. Nemiroff R. J., Rafert B. Toward a continuous record of the sky // Publ. Astron. Soc. Pacific. – 1999. – Vol. 111. – P. 886–897.
5. Борисенко А. Н., Маркелов С. В., Рядченко В. – Нижний Архыз, 1991. – 21 с. – (Препринт САО РАН; 76).
6. Рядченко В. П. Разработка ПЗС-систем и их применение в фотометрических и спектральных исследованиях на 6-м телескопе: Дисс. канд. физ.-мат. наук / В.П. Рядченко; САО РАН. – Нижний Архыз, 1992.
7. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-м телескопа БТА. Х.Позиционные и фотометрические характеристики кварцевого эшелле-спектрографа НЭС с крупноформатной матрицей «Уппсала ПЗС» / В. Е. Панчук, Н. Е. Пискунов, В. Г. Ключкова и др. – Нижний Архыз, 2002. – 15 с. – (Препринт САО РАН.; 169).
8. D.W. Olson. Investigating Art, History, and Literature with Astronomy... Springer, 2022.

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

- Сеть Астронет: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/index.html#Contents>
- База данных по внегалактическим объектам: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- Астрофизическая информационная система ADS - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- База данных объектов за пределами Солнечной системы SIMBAD <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Звёздный каталог VIZIER - <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- Цифровой обзор неба DSS - <http://archive.eso.org/dss/dss>
- Слоановский цифровой небесный обзор SDSS - <http://www.sdss.org>

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

- пакет Octave;
- компилятор gcc;
- утилиты получения изображений с ПЗС-светоприемников, SDK (software development kit) производителей ПЗС.

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

- экран;
- мультимедийный проектор;
- компьютер;
- выход в Интернет и интранет CAO РАН в лабораторных корпусах;
- сервер общего доступа для обработки и хранения данных;
- текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки CAO РАН;
- оборудование научно-исследовательских лабораторий CAO 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.