

**Кафедра экспериментальной
астрономии физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова**

Материалы к отчёту кафедры за 2015-2020 г.
на Учёном Совете физического факультета 28.12.2020 г.

Зав. кафедрой - д.ф.-м.н., профессор А.С. Расторгуев

E-mail: alex.rastorguev@gmail.com

WEB: <http://lnfm1.sai.msu.ru/~milkyway>

- Кафедра экспериментальной астрономии была создана приказом Ректора МГУ в 1996 г. по инициативе астрономического отделения МГУ и Подмосквовного филиала МГУ (ИФТТ РАН, г. Черноголовка)
- **Вызовы времени:**
- Применение новых технологий в астрономии (космические телескопы, большие зеркала, адаптивные и активные оптические системы), высокая степень автоматизации приборов, появление новых приемников излучения, грандиозный рост объемов информации (терабайты-петабайты) во "всенебесных" наземных и космических обзорах - все это привело к необходимости подготовки специалистов нового поколения, способных создавать и эффективно использовать новые приборы, проводить наблюдения и обрабатывать огромные объемы данных.
- Возникли планы создания новой обсерватории ГАИШ МГУ

Акад. А.А. Боярчук



Доцент В.Г. Корнилов

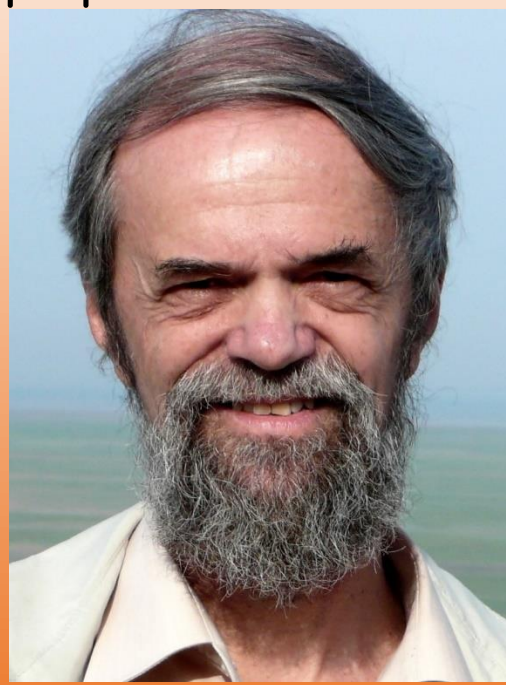


Доцент В.Г. Сурдин

Асс. О.М. Белова Проф. Н.В. Емельянов



Проф. А.С. Расторгуев



Проф. О.Ю. Малков



Кадровый состав кафедры ЭА (2020)

- **Расторгуев А.С.**, д.ф.-м.н., проф. – зав. кафедрой
 - Зав. отделом изучения Галактики и переменных звёзд ГАИШ
- **Корнилов В.Г.**, к.ф.-м.н., доцент
 - Зав. лаб. новых фотометрических методов ГАИШ
- **Сурдин В.Г.**, к.ф.-м.н., доцент
- **Белова О.М.**, к.ф.-м.н., ассистент
- **Малков О.Ю.**, д.ф.-м.н., профессор-совместитель
 - Зав. отделом физики звёздных систем ИНАСАН
- **Емельянов Н.В.**, д.ф.-м.н., профессор-совместитель
 - Зав. отделом небесной механики ГАИШ
- **Сильченко О.К.**, д.ф.-м.н., доцент-совместитель до 2018
 - Зав. отделом физики эмиссионных звёзд и галактик ГАИШ
- **Дамбис А.К.**, д.ф.-м.н., доцент-совместитель до 2018
 - Зав. отделом астрометрии и службы времени ГАИШ

Курсы, читаемые преподавателями кафедры

• Расторгуев А.С.

- Галактическая астрономия (общий курс), 68 ч.
- Динамика звёздных систем (спецкурс), 72 ч.
- Шкала расстояний во Вселенной (спецкурс), 72 ч.
- Динамика звёздных скоплений (спецкурс для аспирантов), 36 ч.
- Универсальная шкала расстояний (спецкурс для аспирантов), 36 ч.
- Астрономия и астрофизика (спецкурс для КИПТ МФТИ), 18 ч.

• Корнилов В.Г.

- Практическая астрофизика (общий курс), 36 ч.
- Приёмники оптического излучения (спецкурс), 36 ч.
- Роботизированные обсерватории и взрывные процессы в Метагалактике (спецкурс), 68 ч.

• Сурдин В.Г.

- Общая астрономия (общий курс), 72 ч.
- Основы астрономии (межфакультетский курс), 36 ч.
- Астрономия и астрофизика (спецкурс для КИПТ МФТИ), 18 ч.
- Астрономия для физиков (НГУ)
- Астрономия и космонавтика (НИУ ФШЭ)
- Лекции для учителей (в системе дополнительного образования)

Курсы, читаемые преподавателями кафедры

• Белова О.М.

- Нестационарное излучение космической плазмы (спецкурс), 108 ч.
- Спектры звёзд и межзвёздной среды (спецкурс), 36 ч.
- Теоретическая астрофизика (семинар), 70 ч.

• Малков О.Ю.

- Двойные звёзды (спецкурс), 34 ч.
- Астрономические базы данных (спецкурс), 36 ч.
- Астрономические данные (спецкурс для аспирантов), 36 ч.

• Емельянов Н.В.

- Теория возмущений (спецкурс), 34 ч.
- Практическая небесная механика (спецкурс), 36 ч.
- Динамика естественных спутников планет на основе наблюдений (спецкурс для аспирантов), 36 ч.

Другие общие и специальные курсы для студентов и аспирантов кафедры

- Теоретическая астрофизика (проф. В.М. Липунов)
- Астрономическая оптика (доц. С.А. Потанин)
- Инструменты и методы астроспектроскопии (зав. лаб. Н.И. Шатский)
- Методы внеатмосферной астрономии (зав. лаб. М.Е. Прохоров)
- Ориентация и навигация в космосе (зав. лаб. М.Е. Прохоров)
- Радиоастрономия (зав. отд. М.С. Пширков)
- Звёздные скопления (доц. Е.В. Глушкова)
- Переменные звёзды (проф. Н.Н. Самусь)
- Практические вопросы звёздной спектроскопии (ст.н.с. Ю.В. Пахомов)
- Строение и эволюция звёзд (вед.н.с. С.А. Ламзин)
- Эволюция галактик (зав. отделом О.К. Сильченко)
- Энтропии и фракталы в методах обработки астрофизической информации (вед. прогр. М.Л. Осташова)
- Научное программирование на языке Python (н.с. К.Л. Маланчев)
- ... и многие другие
- Летняя астрономическая практика в КГО ГАИШ, САО РАН, КС ГАИШ

Задачи лабораторного практикума

• Расторгуев А.С.

- Изучение периодичностей в рядах астрономических данных
- Определение радиусов классических цефеид
- Определение параметров орбит спектрально двойных цефеид
- Изучение вращения Галактики по лучевым скоростям и собственным движениям звёзд
- Уточнение шкалы расстояний объектов методом статистических параллаксов
- Применение метода максимального правдоподобия для исследования кинематики галактических подсистем

• Корнилов В.Г.

- Исследование фотоумножителя
- Исследование матричного ПЗС-приёмника

• ----- По тематике кафедры -----

- Интерферометр Фабри-Перо в астрономии
- Определение кривой пропускания светофильтров
- Дифракционный спектрограф: отождествление линий дневного света
- Исследование объектива на оптической скамье
- Модель астрономического спектрографа
- Определение предельной звёздной величины на ПЗС-кадре

Характерная черта работы кафедр АО -

- Тесное межкафедральное сотрудничество на АО и с рядом кафедр физического факультета
- Тесная генетическая связь с отделами и лабораториями ГАИШ МГУ
 - Отдел изучения Галактики и переменных звёзд (зав. - проф. Расторгуев А.С.)
 - Лаборатория новых фотометрических методов (зав. - доц. Корнилов В.Г.)
 - Лаборатория КГО ГАИШ (зав. - к.ф.-м.н. Н.И. Шатский)
 - Лаборатория космического мониторинга (зав. - проф. Липунов В.М.)
 - Лаборатория космических проектов (зав. - проф. Прохоров М.Е.)
 - Отдел звёздной астрофизики (зав. - акад. Черепашук А.М.)
 - Отдел небесной механики (зав. - проф. Емельянов Н.В.)
- **Отделы и лаборатории ГАИШ – база научной работы студентов и аспирантов**
- Сотрудничество с лабораториями ИНАСАН, ИКИ РАН и АКЦ ФИАН

Публикации коллектива в 2015-2020

- ~120 статей в реферируемых журналах (~2940 ссылок в наиболее полной библиографической базе "Астрофизика" (NASA ADS)
 - Из них 36 статей в журналах кварття Q1
 - В том числе 2 статьи в журнале Nature
- ~ 1900 сообщений в электронных телеграм-сервисах TNSTR, GCN, ATel (~120 ссылок в базе NASA ADS) - результаты наблюдений транзиентных явлений роботизированной сетью МАСТЕР (**Корнилов В.Г.**)
- Коллективная монография "Многоканальная астрономия" (Фрязино: Век-2, 2018) (участник **Расторгуев А.С.**)
- Бычков К.В., **Белова О.М.** "Непрерывный спектр излучения звёздных атмосфер и межзвёздной среды"; ГАИШ МГУ, ISBN 978-5-4465-1835-7, 99 с., 2018
- **Сурдин В.Г.** (лауреат премии "Просветитель") - автор или научный редактор 57 книг (сборники лекций по астрономии, учебники по астрономии для школы, монографии, энциклопедии, научно-популярные книги)



• Некоторые книги и учебные пособия
доцента В.Г. Сурдина (2015-2020)



Сурдин В. Г. и др. **Путешествия к Луне**. М.: Физматлит, 2019
 Лапина И. К., Сурдин В. Г. **Школа юного астронома: 3-4 кл.** М.: Просвещение, 2019
 Сурдин В. Г. **Астрономия. Популярная лекция**. М.: МПНМО. 2019. [Читать здесь](#).
 Гомулина Н. Н., Сурдин В. Г. **Введение в астрономию. 5-7 кл.** М.: Просвещение, 2019

Студенты и аспиранты кафедры

- Начиная с 1999 г. (первый выпуск) кафедру закончили 102 студента
 - С 2015 - 25 выпускников
- Работают в астрономических учреждениях:
 - ГАИШ МГУ
 - ИНАСАН
 - ИКИ РАН
 - АКЦ ФИАН
 - САО РАН
 - ИЗМИРАН
- В настоящее время на кафедре обучаются 16 студентов (436, 536, 636 группы) и 7 аспирантов и соискателей
- **Защищённых диссертаций:**
 - Кандидатских - 18 (8 с 2015)
 - Докторских - 2 (А.В. Моисеев, И.В. Чилингарян)

•

Направления научных исследований кафедры

- Разработка, конструирование и эксплуатация аппаратуры для телескопов КГО ГАИШ, сети МАСТЕР; проведение, обработка и интерпретация астрономических наблюдений
- Комплексное изучение природы оптических транзиентных явлений во Вселенной сетью роботизированных телескопов МАСТЕР совместно с наблюдениями в других каналах
- Исследование популяции двойных и кратных звёзд
- Создание баз данных и реализация концепции Виртуальной Обсерватории
- Изучение кинематики и динамики населений Млечного Пути и звёздных скоплений
- Физика гравиплазмы (физические основания звёздной динамики)
- "Стандартные свечи" и универсальная шкала расстояний во Вселенной
- Физика цефеид
- Исследование элементарных физических процессов в астрофизической плазме
- Участие в космических проектах (Lira-B, WSO-UV, Millimetron, ...)

- **МАСТЕР** – мировая сеть автоматизированных телескопов для наблюдения апертных транзиентных явлений (оптические послесвечения гамма-всплесков, слияния компактных объектов, Сверхновые, переменные звёзды, малые тела Солнечной Системы)
- 8 двойных 40-см телескопов-роботов в РФ, Испании, ЮАР, Аргентине, покрывающих большой долготный диапазон
- **Проф. В.М. Липунов** – зав. лабораторией космического мониторинга ГАИШ, организатор и бессменный руководитель сети, входящей в Программу развития МГУ
- **Доц. В.Г. Корнилов** – активнейший участник программы, обеспечивающий, в частности, научно-техническую поддержку
- ~1900 сообщений об оптических транзиентах в 2015-2020 г.



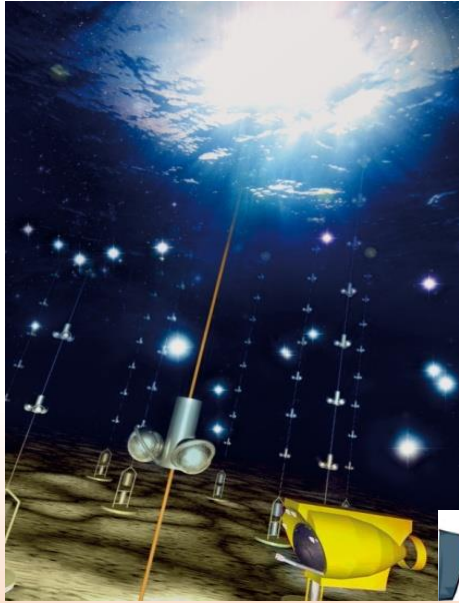
- **МАСТЕР:** 8 двойных 40-см телескопов-роботов, которые установлены в 8 точках Земного шара (в России, Испании, Южной Африке и Аргентине) с одинаковым приемным оборудованием (CCD) и уникальным программным обеспечением, обеспечивающим быстрое (~1 минута) отождествление, обработку и анализ всех объектов на каждом кадре
- Фотометрия (до ~20 mag) и поляриметрия
- Быстрое (~20 секунд) алертное наведение
- Режим обзоров
- Это позволяет находить все новые объекты и оперативно публиковать их результаты наблюдений, обеспечивая дальнейшие исследования всеми наземными и космическими инструментами
- Идёт работа по установке 60-см телескопов

МАСТЕР на El Teide (Tenerife, Spain)



Доц. В.Г. Корнилов и проф. В.М. Липунов

МАСТЕР обеспечивает многоканальные наблюдения



Нейтринная
обсерватория
ANTARES в
Средиземном море
(Франция)



10-метровый
канарский
телескоп



Нейтринная обсерватория Ice-
Cube (Антарктида)



Орбитальные Гамма-
обсерватории



Гравитационно-
волновая обсерватория
LIGO/VIRGO



• МАСТЕР:

- 28 публикаций (**Корнилов и др.**) в реферируемых журналах в 2015-2020
 - 16 в журналах квартиля Q1
 - 2 в Nature
 - 1900+ сообщений в TNSTR, GCN, ATel
- Наиболее значимые результаты группы МАСТЕР:
 - "Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B" (**Nature**, V.547, P.425, 2017) - изучение характера магнитного поля в джете ЧД
 - "A gravitational-wave standard siren measurement of the Hubble constant" (**Nature**, V.551, P.85, 2017) - наблюдения слияния нейтронных звёзд LIGO/VIRGO (GW170817) и сетью МАСТЕР (GRB 170817A) - явление Килоновой

2.5-м рефлексор КГО ГАИШ



Альт-азимутальная установка
Система Ричи-Кретьена с полем до 40'
Качество зеркала: $r(80\%) = 0.28''$
С учётом атмосферы $FVHM > 0.5''$

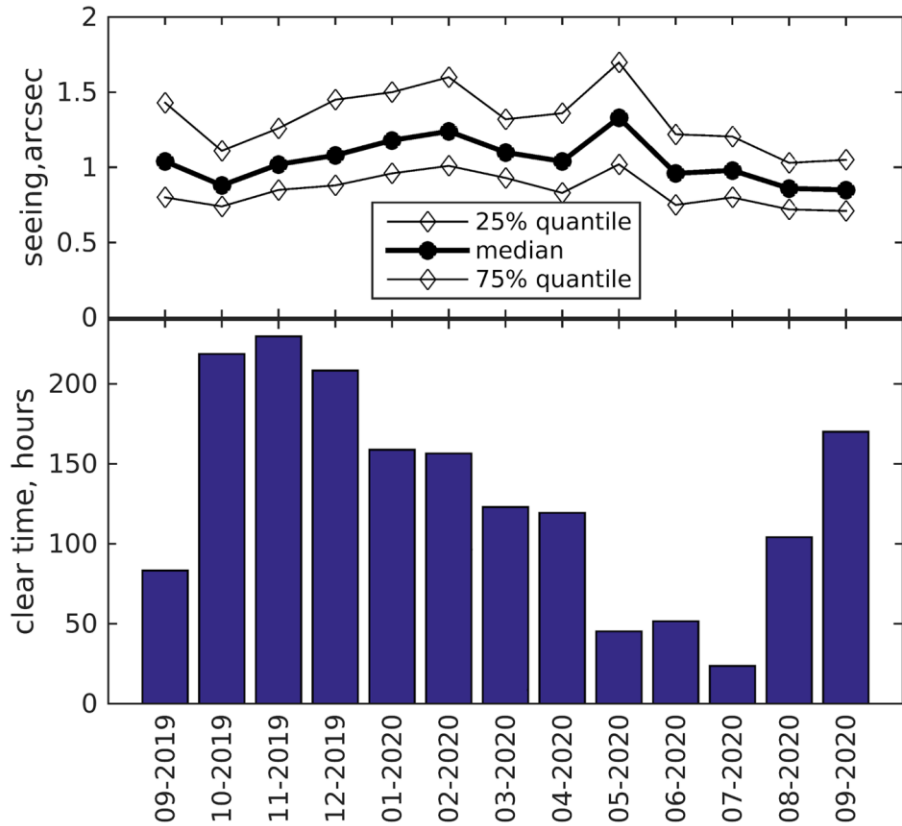
• КГО ГАИШ (Корнилов и др.)

- Строительство: 2011-2013
- 07.11.2014 - первый свет
- 07.2015 - первая практика АО
- 2017-2020 - работа над ПО системы управления
- + 60-см автоматизированный телескоп RC600

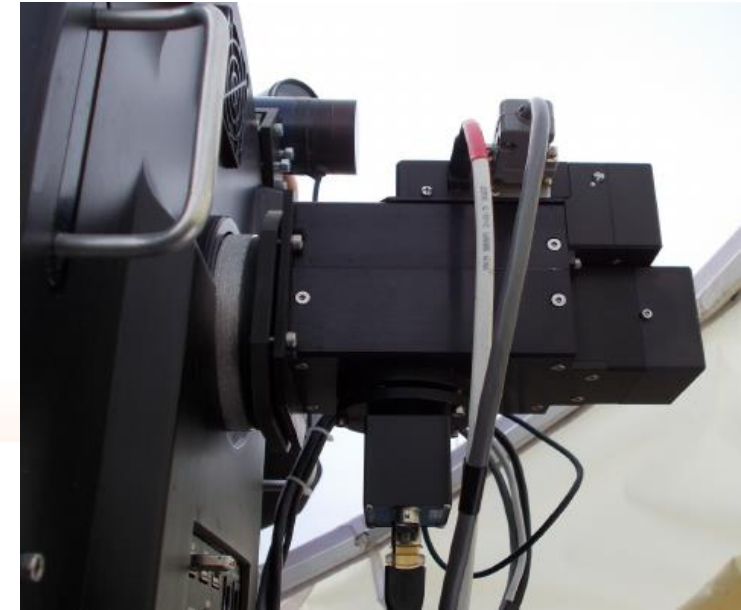
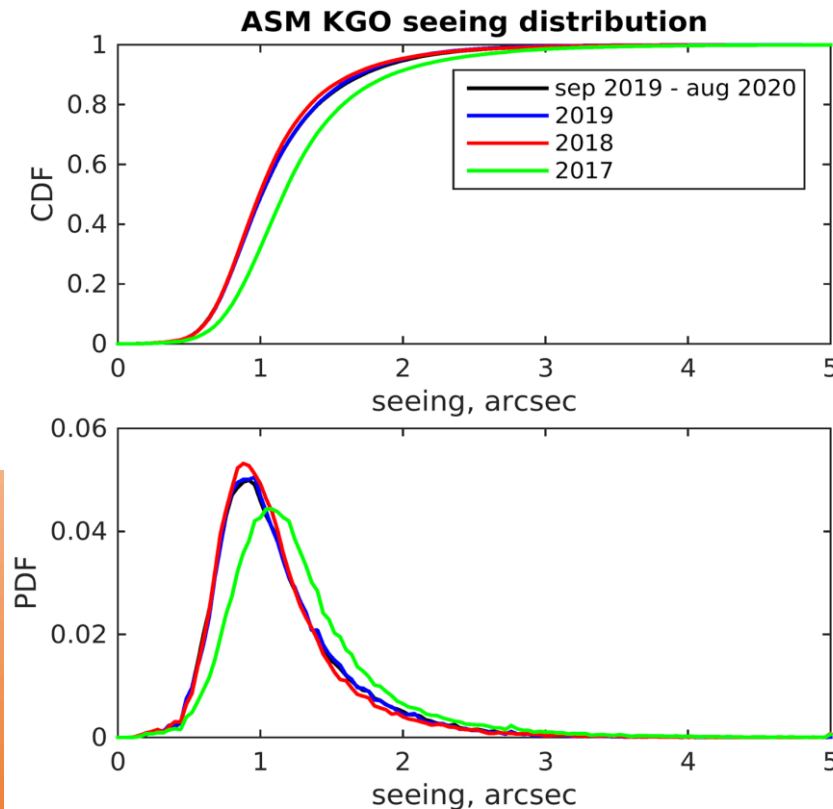


- Большой вклад в проектирование и строительство обсерватории, её оснащение телескопами и приборами, наладку оборудования, разработку управляющего и прикладного ПО, проведение наблюдений внесли и вносят **доцент В.Г. Корнилов**, выпускники кафедры **доцент С.А. Потанин, н.с. Б.С. Сафонов**.
- Отметим активное участие в этих работах выпускников кафедры **н.с. М.В. Корнилова, вед. инж. К.А. Атапина**, аспирантов **Д.В. Черясова, И.А. Горбунова**, студентов **С.Г. Желтоухова, А.А. Федотьевой**

Мониторинг астроклимата в 2020



**Median seeing = 1.02 arcsec
(sep 2019 - aug 2020)**

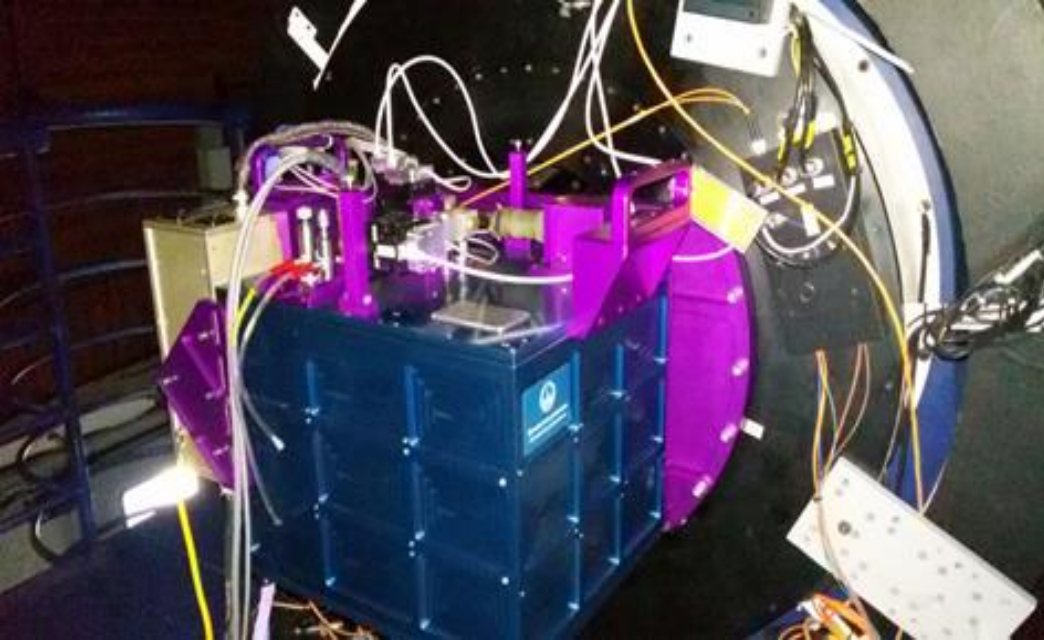


MASS-DIMM:
мировой стандарт
измерений качества
астроклимата
(доц. В.Г. Корнилов)

Навесная аппаратура SAI2.5

Штатные приборы телескопа, интегрированные в систему управления:

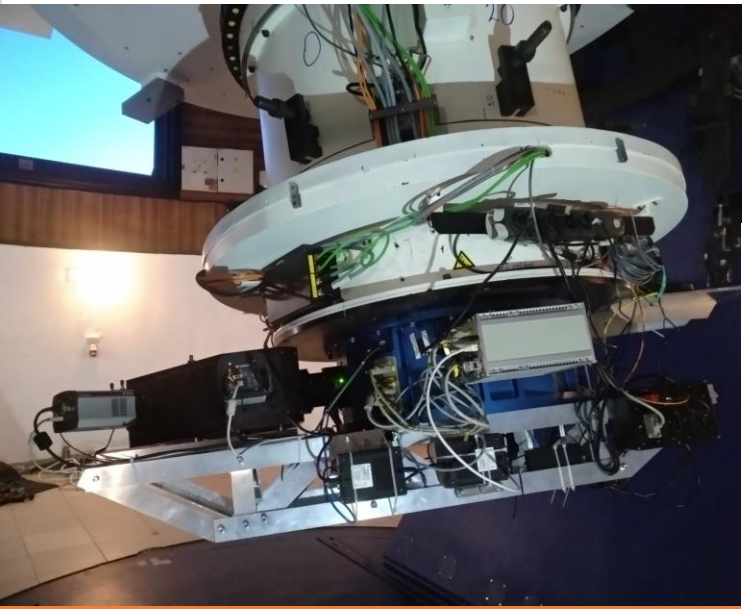
● Прибор	Назначение	Фокус	Год
● =====	=====	=====	=====
● ASTRONIRCAM	IR imag&spec	Несмит-1	(2015)
● Wide Field Imager	Opt imag	Кассегрен	(2014)
● Спекл-поляриметр	HAR&pol. Высокоточ. pol	Несмит-2 Кассегрен	(2015)
● Транзиентный Двухлучевой Спектрограф	Opt.spec	Кассегрен-2	(2019)
● "Гостевой прибор"			
● MaNGaL	Opt.FP-spec	Несмит-2	(2017)



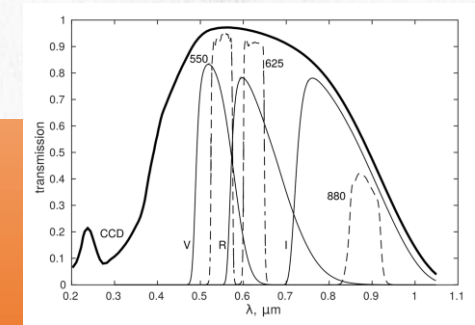
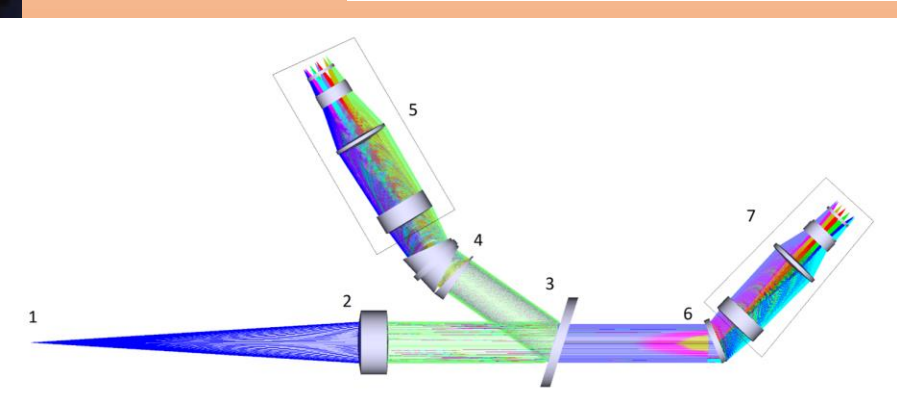
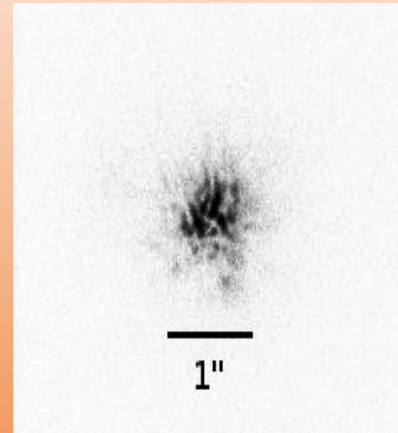
Спекл-
поляриметр
BVRI+средн.



ASTRONIRCAM: JHK+линии + щел. спектр.
2-х лучевой спектрограф (B-R), R~2500



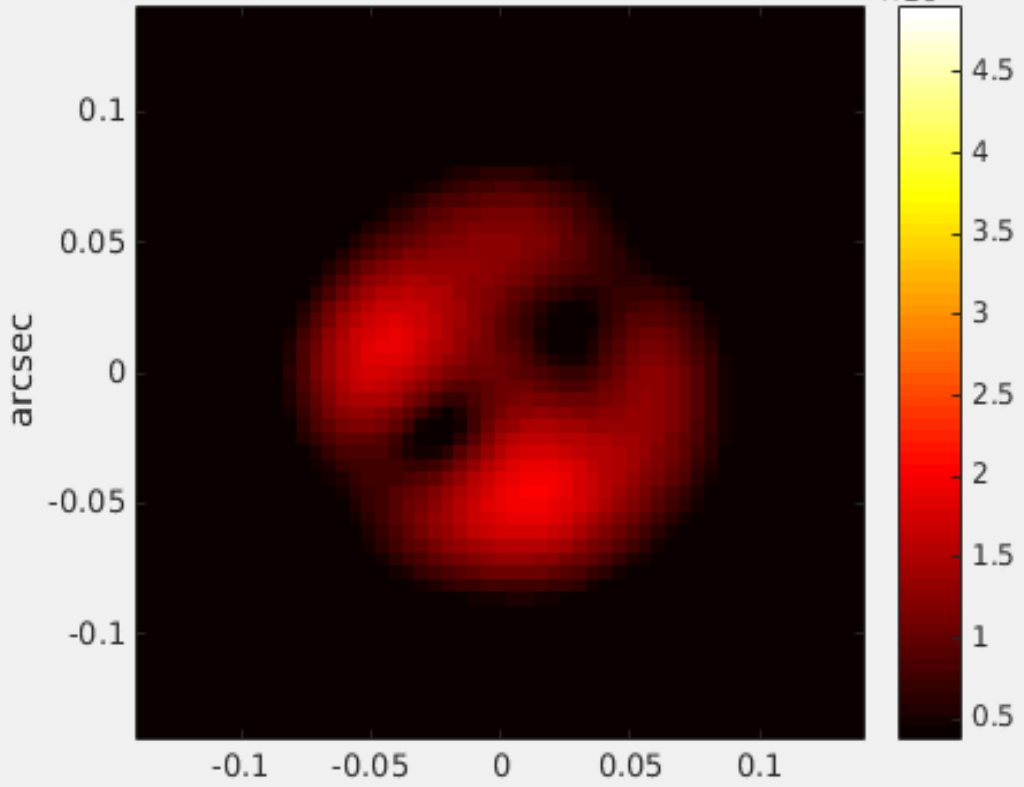
Wide-field Imager (10')
Фотометрия: UBVRI+
SDSS + линии



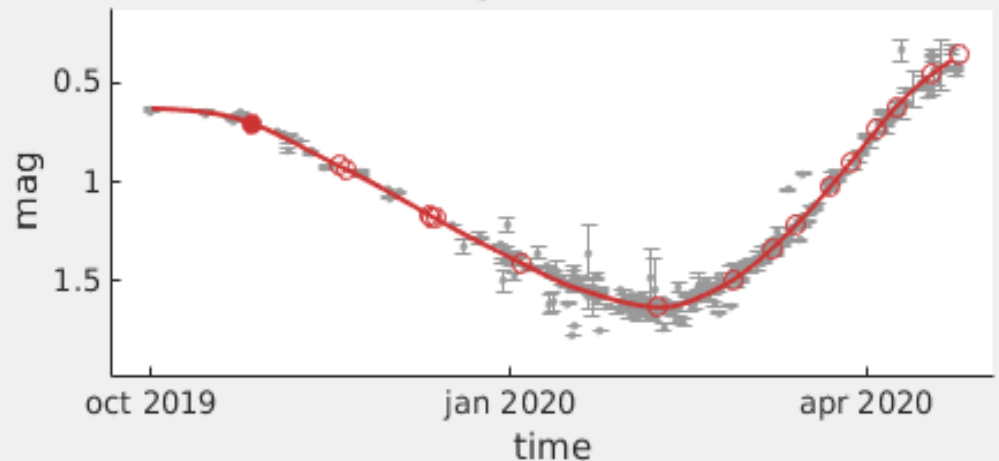
alpha Ori : 26-10-2019

speckle polarimeter, 2.5-m CMO SAI MSU

$\times 10^{-5}$



light curve



- Пример измерений со спеклполяриметром с дифракционным разрешением 0.05":
- Мониторинг вариации освещенности поляризованной пылевой оболочки Бетельгейзе в течение фотометрического цикла

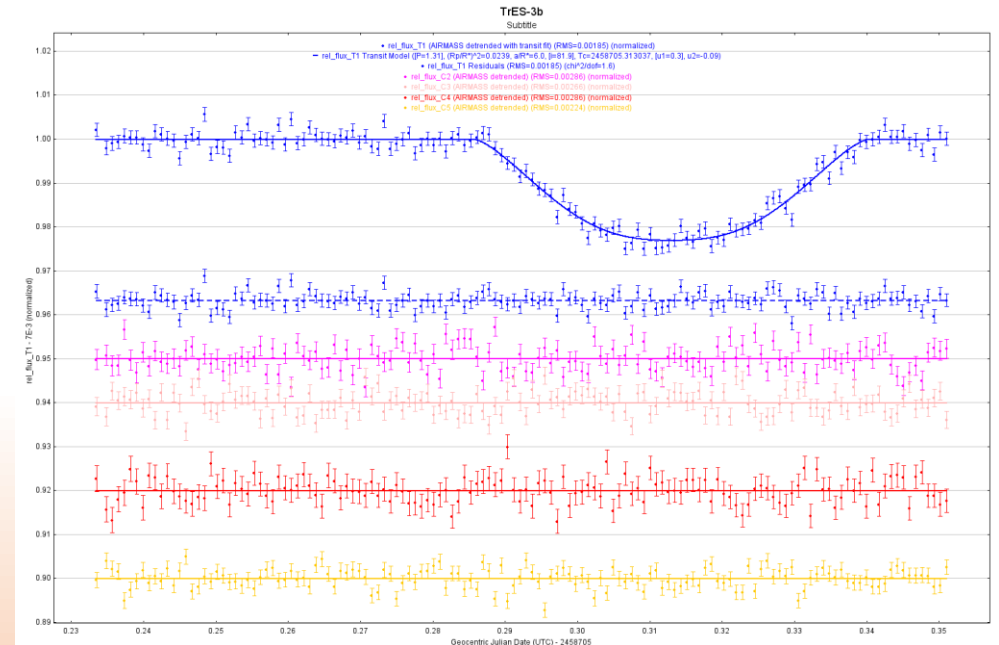
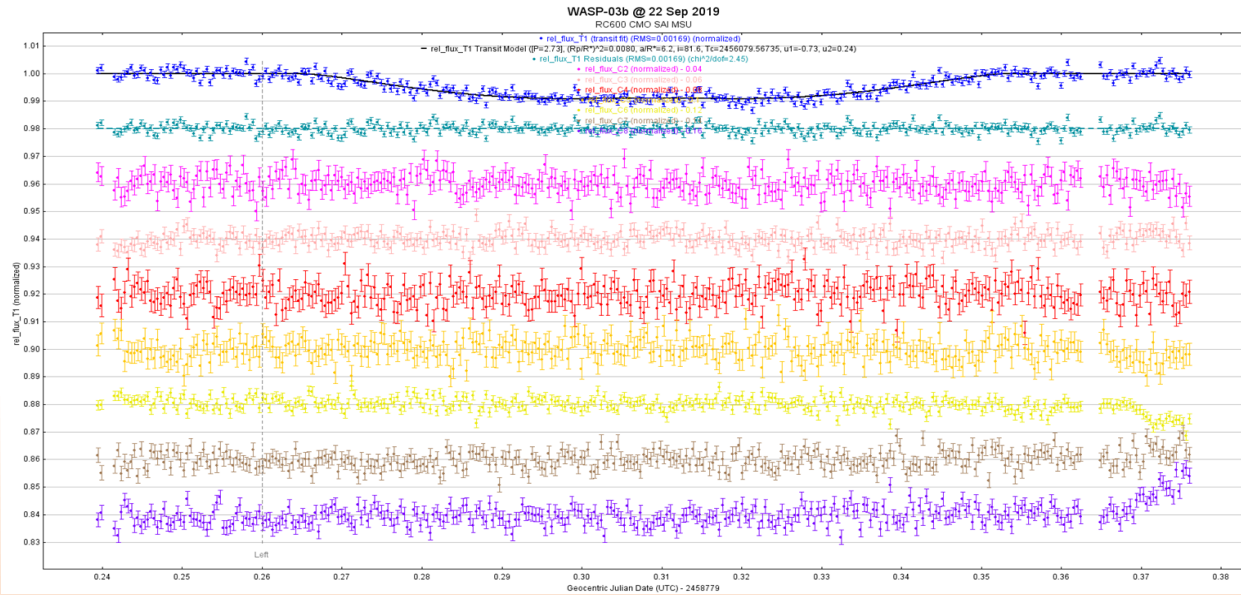
Автоматизированный телескоп RC600

- Рефлектор RC, D=600 мм, F=4200 мм
- Монтровка на моментных двигателях с абсолютными энкодерами, автогидирование для длинных тайм-серий с удержанием объекта <math><0,3''</math>
- Камера: Andor iKon-L BV
2048x2048 pix, FoV: 22x22', 1pix=0,67", время считывания полного кадра - 4 с.
- Фильтры: **UBVRcIcg'r'i'**
- За 60 сек в фильтре Rc ~ 19.3m SNR~5
- Управляется удаленно из ГАИШ
- Регулярные наблюдения с мая 2019 г.

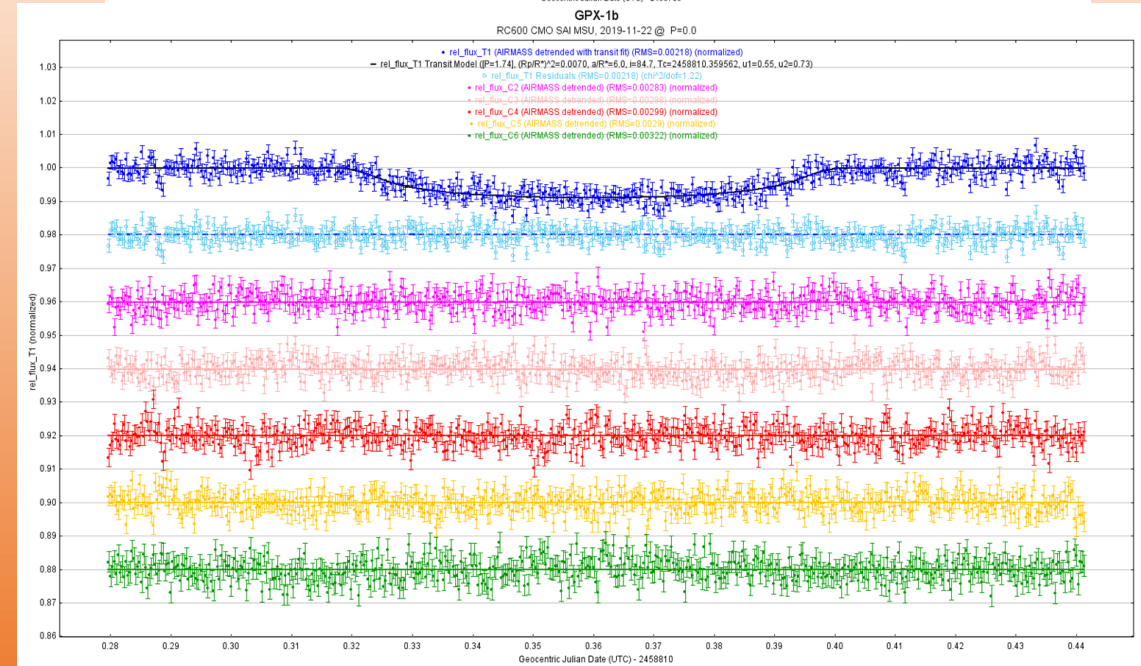
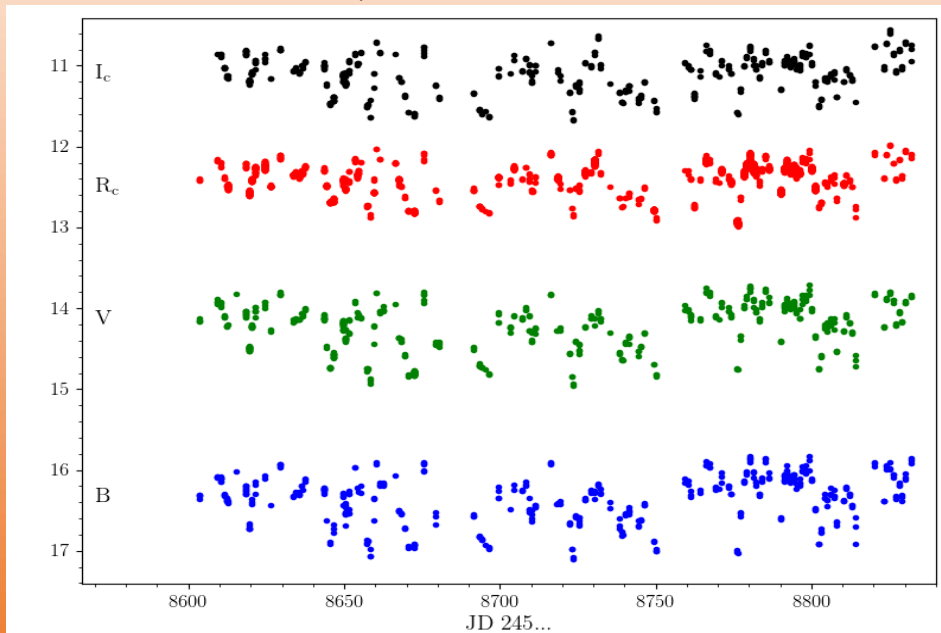


- На RC600 проходила практика 2019 и 2020
- Наблюдались SS433, SNe, CVs, цефеиды, AGN, экзопланеты, астероиды/кометы
- Готовится переход на автоматический режим наблюдений

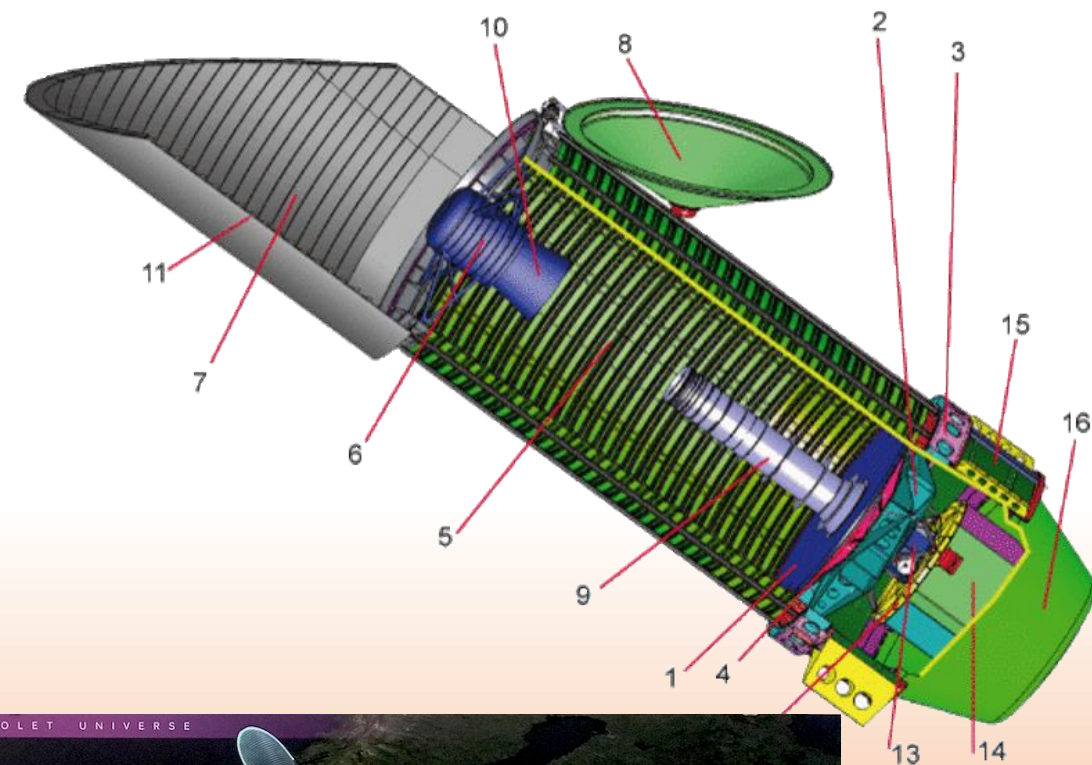
Примеры результатов наблюдений на RC600



Мониторинг SS433 в 2019



- **WSO-UV: "Спектр-УФ" (2025?)**
- **World Space Observatory - UV**
- Россия - Испания + ESA
- 170-см космический телескоп
- **Проф. Малков О.В.** - гл. конструктор Регионального центра обработки научной информации, отв. за систему подготовки программы наблюдений, отв. за наземный научный комплекс
- **Проф. Расторгуев А.С.** - пред. международного комитета по отбору наблюдательных программ WSO-UV



• **Звёздная астрономия и звёздная динамика (Расторгуев А.С. и др.)**

- Исследованы строение и динамика населений Галактики (вращение Галактики, спиральный узор) с использованием новейших данных астрометрической космической миссии GAIA
- Разработан и применён наиболее эффективный алгоритм статистических параллаксов, позволяющий уточнять шкалы расстояний объектов
- Разработан новый метод определения радиусов и светимостей "стандартных свечей" - цефеид, использующий мультифазные спектроскопические измерения их температур, и выведена новая зависимость "период-светимость" для оценки расстояний
- Доказано отсутствие классической логарифмической расходимости при вычислении коэффициентов диффузии и эффектов столкновительной релаксации в звёздных системах и показано, что эффективное "обрезание" начинается на среднем межчастичном расстоянии

• **Теоретическая астрофизика (Белова О.М. и др.)**

- Детально исследованы элементарные процессы в астрофизической плазме
- Изучены свойства излучения в условиях нестационарности в присутствии ударных волн в звёздных атмосферах

- **Изучение и каталогизация двойных и кратных звёзд**
(Малков О.Ю. и др.)

- Составлен самый полный каталог 119 полуразделенных двойных систем с доступными решениями кривых блеска и лучевых скоростей. Каталог содержит параметры орбит и физические параметры компонентов, проведена его кросс-идентификация с GAIA DR2
- Представлена новая версия Каталога Затменных Переменных Звезд CEV. Каталог содержит параметры кривых блеска (морфологический тип, яркость в максимуме и минимумах, период, продолжительность затмений и их полной фазы, фазу вторичного минимума) для примерно 7200 звезд. Для 40 процентов каталогизированных систем представлена спектральная классификация. В каталог включена также эволюционная классификация примерно для 5900 систем, таким образом, CEV представляет собой самый большой список затменных двойных с известной эволюционной классификацией.

• **Дополнительное финансирование кафедры:**

• **Источник**

Финансирование

- Грант РФФИ 19-02-00611, руководство (ФФ МГУ)
- Грант РФФИ 19-29-11011, исполнители (ФФ МГУ)
- Грант РФФИ 18-02-00890, исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РФФИ 17-52-80133 (2017-2019), исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РНФ 17-12-01241 (2017-2019) исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РФФИ 16-02-00085 (2016-2018), исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РНФ 15-02-07875 (2015-2017), исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РНФ 14-22-00041 (2014-2016), исполнители (ГАИШ МГУ)
- Грант РФФИ 14-02-00472 (2014-2016), руководство (ГАИШ МГУ)
- + темы Госзадания и Научные школы МГУ

Перспективы и задачи развития кафедры в 2021-2026

- Продолжение обзорного мониторинга неба и исследования оптических транзиентов роботизированными телескопами сети MASTER, в том числе в режиме многоканальных наблюдений в кооперации с командами LIGO/VIRGO и нейтринных обсерваторий
- Оснащение сети MASTER телескопами большего диаметра и техническое сопровождение наблюдений
- Конструирование новых фотометрических и спектральных приборов для телескопов КГО и КС ГАИШ
- Подготовка высококвалифицированных специалистов – студентов и аспирантов – к решению инженерных задач проектирования, конструирования и эксплуатации астрономических приборов

Перспективы и задачи развития кафедры в 2021-2026

- Проведение и обработка результатов фотометрических, спектральных и поляриметрических наблюдений по программам кафедр и отделов ГАИШ на телескопах КГО и КС ГАИШ
- Подготовка специалистов для работы в отделах и обсерваториях ГАИШ МГУ, непосредственно связанных с наблюдениями (КГО, КС, Баксанская станция, Лаб. лазерных интерференционных измерений и др.)
- Подготовка специалистов для работы над космическими проектами МГУ, ИНАСАН, АКЦ ФИАН, ИКИ
- Разработка и реализация новых лекционных курсов, программ практик и практикумов с целью реализации задач кафедры
- Подготовка специалистов, умеющих использовать экстремально большие объёмы данных в научных исследованиях

Перспективы и задачи развития кафедры в 2021-2026

- Использование новых результатов космической миссии GAIA (DR3, 2020-2022) в звёздно-астрономических и астрофизических исследованиях по тематике кафедры и родственных отделов и лабораторий ГАИШ МГУ
- Продолжение исследований в области теоретической астрофизики с их применением к наблюдательным работам по физике звёздных атмосфер
- Продолжение работ по физике звёзд, в первую очередь - "стандартных свечей" (цефеид, Сверхновых) с применением алгоритмов машинного обучения и классификации
- Работа по созданию Виртуальной Обсерватории МГУ
- Научно-популяризаторская и просветительская деятельность