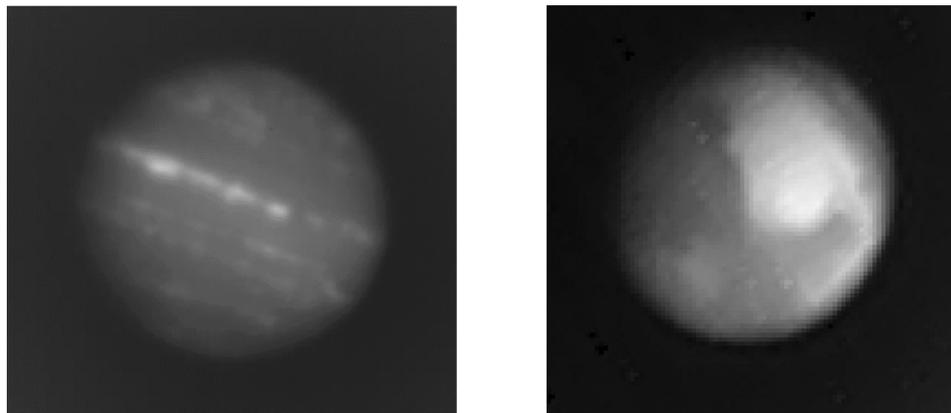


Новая камера среднего инфракрасного диапазона КГО ГАИШ МГУ

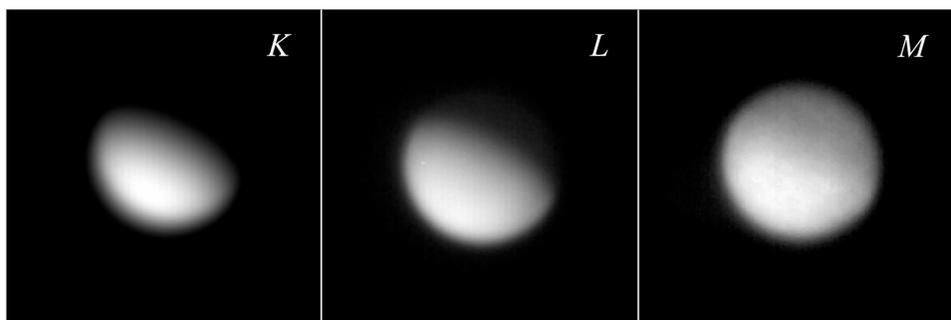
Желтоухов Сергей Геннадьевич, Татарников Андрей Михайлович, Кокшарова Елизавета Андреевна, Белякова Александра Андреевна

Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова, Россия, Москва

В начале 2024 г. на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории (КГО) начались штатные наблюдения с новой ИК камерой диапазона 3 – 5 мкм [1]. Камера создана в ГАИШ МГУ на основе коммерческого светочувствительного модуля Gavin-615A (производство Китай). Формат детектора 640×512 пикселей, угловое рабочее невиньетированное поле зрения фотометра составляет около 30".



«Первый свет» камеры: Юпитер и Марс в спектральном диапазоне 3 – 5 мкм

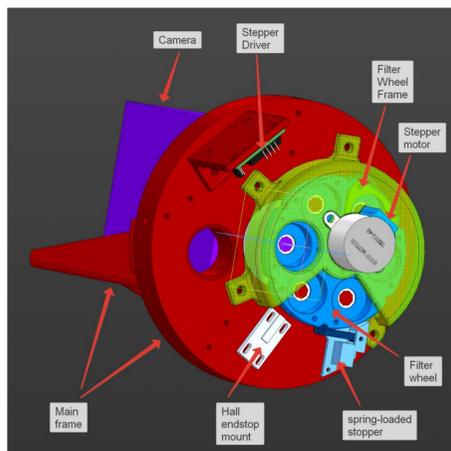


Снимки Венеры в полосах K, L и M. Фаза планеты 0.75, угловой диаметр 14"

Исследования детектора фотометра показали, что его параметры в целом соответствуют заявленным производителем [2]. Нелинейность детектора не превышает ~5% во всем диапазоне сигналов, для ее исправления нами определены коэффициенты корректирующих функций. Коэффициент преобразования $GAIN = 520 \pm 9 \text{ e-}/ADU$. Шум считывания $RN = 1200 \pm 210 \text{ e-}$, т.е. ~2 ADU. Темновой ток детектора достаточно велик $\approx (9.3 \pm 1.1) \cdot 10^6 \text{ e-}/\text{с}$ при характерной для условий наблюдений температуре входного окна 6°C (сигнал от излучения входного окна чувствительного модуля входит в состав темнового тока).

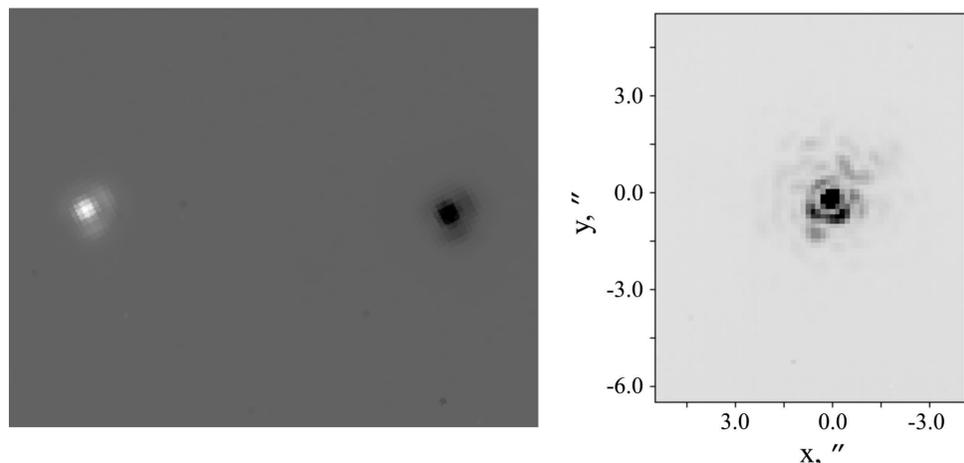
Параметр детектора	Величина
Формат	640 x 512 пикселей
Размер ячейки	15 мкм
Темновой ток	$< 9.3 \cdot 10^6 \text{ e-}/\text{сек}$
Коэффициент преобразования	520 e-/ADU
Шум считывания	1200 e-
Емкость ячейки	$8 \cdot 10^{-6} \text{ e-}$
Нелинейность	<5%

Производитель детектора удалил штатный холодный светофильтр, ограничивавший область чувствительности камеры длинами волн 3.7 – 4.8 мкм. Это позволило установить светофильтры L и M, реализующие фотометрические полосы L' и M' системы MKO-NIR и дополнительный светофильтр K с центральной длиной волны 2.2 мкм. Квантовая эффективность камеры в полосе K в несколько раз ниже, чем в основном диапазоне, и наблюдениям с ним доступны лишь наиболее яркие объекты. Все светофильтры, а также открытое отверстие и калибровочная заглушка, установлены в колесе, приводимом в движение шаговым мотором. Время смены фильтра примерно 5 с.



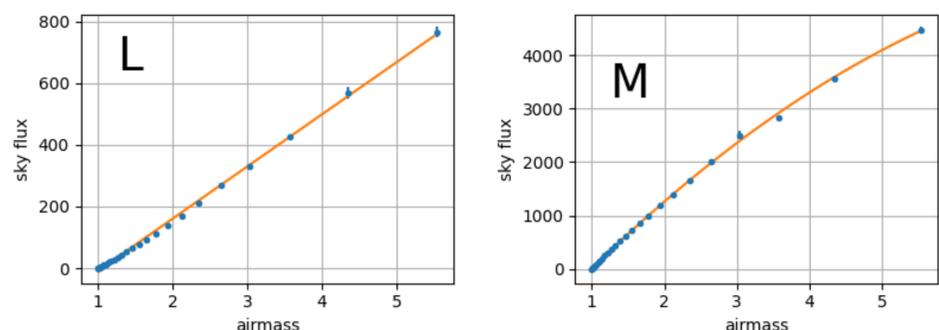
Внешний вид и 3D модель камеры

ИК камера установлена в одном из дополнительных фокусов Несмита 2.5-м телескопа, не оснащенного деротатором. В ходе наблюдений с помощью перемещения трубы телескопа выполняется низкочастотная модуляция светового потока с угловой амплитудой 10" для точечных объектов и 1' для протяженных (*dithering*). В зависимости от яркости объекта и планируемой полной длительности накопления выбирается число перемещений. Характерная длительность экспозиции одного кадра составляет 20 мс, и при одном положении телескопа их получается ~100 штук. Кадры суммируются «на лету» для сохранения дискового пространства. Время, затрачиваемое телескопом на перемещение, практически не зависит от угла смещения (в пределах углов, используемых при модуляции) и составляет ~2 с. Суммарные кадры, полученные в двух положениях трубы вычитаются друг из друга, что позволяет скомпенсировать фон и некоторые особенности детектора. Указанный фотометр на рассматриваемом телескопе для точечных источников позволяет достичь предельные звездные величины: примерно 9^m в диапазоне L и 8^m в диапазоне M. Точные предельные величины сильно зависят от времени накопления, синнга и температуры телескопа.



Пример разностного кадра, полученного при наблюдениях с модуляцией (слева), и распределение яркости на одиночном снимке звезды (справа)

В настоящее время с камерой проводятся наблюдения в основном по двум программам — исследование пылевых оболочек звезд, находящихся на поздних стадиях эволюции [3], и исследование вариаций яркости фона неба в ИК диапазоне. Во втором случае камера устанавливается на отдельную установку, обеспечивающую сканирование неба в выбранном вертикале.



Зависимость фона неба от воздушной массы (КГО 20.10.2023 г.).

Полученные кривые распределения яркости фона неба показывают, что при ясной погоде в полосе L зависимость от воздушной массы остается постоянной вплоть до $Mz \sim 5$, а в полосе M наблюдается заметное отклонение от прямой. Такую зависимость подтверждает и моделирование, выполненное с помощью библиотеки modtran, и, по-видимому, связано с высоким поглощением собственного излучения атмосферой.

Список литературы:

- С. Г. Желтоухов, А. М. Татарников. Об эффективности наблюдений в среднем инфракрасном диапазоне длин волн на 2.5-метровом телескопе КГО МГУ с коммерческими ИК-камерами. Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, (6):57–65, 2022.
- С. Г. Желтоухов, А. М. Татарников, А. А. Белякова, Е. А. Кокшарова. Новая инфракрасная камера Кавказской Горной Обсерватории ГАИШ МГУ: конструкция, основные параметры и первый свет. Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, (1):2410801–2410801, 2024.
- А. М. Татарников, С. Г. Желтоухов, Е. Д. Малик. Распределение энергии в спектрах звезд, находящихся на поздних стадиях эволюции. Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 79(3):2430801, 2024.
- Berk A. et al., MODTRAN6: a major upgrade of the MODTRAN radiative transfer code, Proc. of SPIE 9088, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XX, 90880N.

С. Г. Желтоухов благодарит за поддержку Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС» №21-2-10-35-1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российским Научным Фондом (грант 23-22-00182).