

УДК 520.34—76

Инфракрасный J, H, K, L-фотометр**В. П. Кузьков**

Описан малогабаритный инфракрасный фотометр с приемником PbS, охлаждаемым жидким азотом. Отличительной особенностью оптической схемы фотометра является осуществление подсмotra на охлаждаемую диафрагму фотометра через входное окно криостата.

INFRARED PHOTOMETER (J, H, K, L), by Kuz'kov V. P.— A small-size infrared photometer with the PbS detector cooled by liquid nitrogen is described. The cool diaphragm of the photometer is observed through a window of the cryostat.

Введение. В последние годы интенсивно развивается инфракрасная и субмиллиметровая астрономия [7]. В СССР хорошо известны работы В. И. Мороза, В. И. Шенаврина, Г. В. Хозова, М. О. Пехка, Г. Б. Шо-ломицкого по освоению этих областей спектра [2, 3, 4, 5, 6].

Одним из последних созданных приборов в этой области является однолучевой ИК-фотометр для спектральной области 0.9—2.5 мкм [1], разработанный в ГАО АН СССР.

С целью изучения звезд с пылевыми оболочками и других источников ИК-излучения в ГАО АН УССР создан инфракрасный фотометр для длин волн 1—3.5 мкм с охлаждаемым жидким азотом приемником излучения PbS.

Оптическая схема фотометра. Оптическая схема фотометра (рис. 1) близка к классической двухлучевой схеме [8], в которой модуляция осуществляется колеблющимся зеркалом. Отличительной ее особенностью является то, что в фотометре осуществлен подсмотр охлаждаемой диафрагмы через входное окно криостата. Зеркальная диафрагма (9), охлаждаемая до температуры ≈ 78 К, наклонена к оптической оси фотометра на угол $\approx 7^\circ$. Этот угол выбран с таким расчетом, чтобы отраженное от поверхности диафрагмы излучение проходило через то же входное окно криостата (8) и попадало на зеркало (12) и в окуляр (13) подсмotra охлаждаемой диафрагмы. В результате вокруг диафрагмы просматривается поле диаметром 6 мм, что соответствует полю зрения на небе $2'$ при использовании телескопа с фокусным расстоянием 10.5 м и относительным отверстием 1:15. Диаметр диафрагмы составляет 0.5 мм ($10''$). Предусмотрена возможность ее замены.

Офсетное зеркало (1) имеет размеры 60×80 мм. В качестве окуляра офсетного подсмotra (2) используется стандартный объектив «Юпитер-8», что обеспечивает поле зрения окуляра $6'$. Смещением окуляра просматривается поле офсетного подсмotra $\approx 15'$. С помощью вводимого зеркала подофсетного подсмotra осуществляется периодический контроль фотометрируемого объекта в диафрагме при введенном фильтре. Окуляр подофсетного подсмotra подвижный, с фиксацией положений. Общее просматриваемое им поле — $2.5'$.

Линейка сменных фильтров (5) рассчитана на установку шести фильтров.

Конструктивные особенности. Фотометр конструктивно выполнен в виде оптико-механического блока (в котором расположены модулятор, фильтры и средства подсмotra) и криостата с приемником излучения и предварительным усилителем. Такая конструкция позволяет использовать один и тот же оптико-механический блок с различными приемниками излучения, расположенными в однотипных криостатах.

Модулятор, осуществляющий параллельное перемещение зеркала (6), выполнен на основе электромагнитного привода. В частности, использован стандартный привод от динамиков 2ГД—22. В результате частота модуляции с высокой стабильностью может меняться от единиц до сотен герц при амплитуде линейного перемещения зеркала до 2 мм.

Для охлаждения приемника излучения используется криостат с внутренним промежуточным экраном и емкостью 1.2 литра. Испаряемость жидкого азота в нем 0.4 литра/сутки. Одной заливки жидкого азота хватает на 72 часа.

Используемый в настоящее время приемник излучения — фотосоппротивление PbS с иммерсионной линзой и размерами чувствитель-

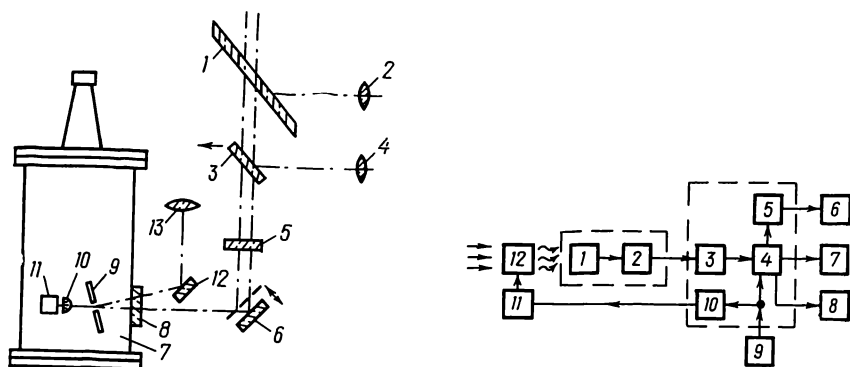


Рис. 1. Оптическая схема фотометра: 1 — зеркало офсетного подсмотра; 2 — окуляр офсетного подсмотра; 3 — подвижное зеркало подофсетного подсмотра; 4 — окуляр подофсетного подсмотра; 5 — фильтры; 6 — зеркало модулятора; 7 — криостат; 8 — входное окно криостата; 9 — зеркальная диафрагма; 10 — иммерсионная линза; 11 — приемник излучения; 12 — зеркало подсмотра охлаждаемой диафрагмы; 13 — окуляр подсмотра охлаждаемой диафрагмы

Рис. 2. Электронная блок-схема фотометра: 1 — приемник излучения; 2 — предварительный усилитель; 3 — фильтр; 4 — синхронный детектор; 5 — преобразователь напряжение — частота; 6 — частотомер; 7 — самописец; 8 — контрольный осциллограф; 9 — синусоидальный генератор; 10 — формирователь; 11 — усилитель мощности; 12 — модулятор

ной площадки 0.4×0.4 мм. Измерения показали, что приемник излучения в рабочем режиме при длине волны $\lambda = 1.6$ мкм характеризуется эквивалентной мощностью шума $\text{ЭМШ} = 5.3 \times 10^{-13}$ Вт·Гц $^{-1/2}$, обнаружительной способностью $D^* = 7.5 \times 10^{10}$ см·Вт $^{-1}$ ·Гц $^{-1/2}$, постоянной времени $\tau = 6.1 \times 10^{-3}$ с, чувствительностью $S = 2.2 \times 10^7$ В·Вт $^{-1}$.

Приемник и предварительный усилитель крепятся ко дну азотной емкости и находятся в вакуумной промежуточной криостата.

Электронный тракт фотометра. Электронная блок-схема фотометра показана на рис. 2. Малошумящий предварительный усилитель (2), работающий на уровне температур жидкого азота, выполнен на микросхеме 504 УН1В. Коэффициент усиления 42 Дб. Уровень собственных шумов на 29 Дб ниже шумов приемного элемента (1). Пассивный фильтр низких частот (3) срезает частоты выше двойной частоты модуляции. Так как в синхронном детекторе применены два каскада синхронных фильтров, то этого оказывается вполне достаточно для подавления синхронных нечетных гармоник модуляции. Синхронный детектор реализует две фиксированные полосы пропускания: $\Delta f = 0.02$ Гц и $\Delta f = 0.2$ Гц, по уровню выходного сигнала 0.707 от максимального. Преобразователь напряжение — частота (5) имеет коэффициент преобразования 10^3 и линейность в рабочем участке лучше 0.15 %.

Необходимая стабильность задающего генератора (9) определяет используемым временем накопления полезного сигнала.

Результаты испытаний. Для лабораторных испытаний в качестве источника ИК-излучения использовалось абсолютно черное тело (АЧТ) с температурой полости $T_{\text{АЧТ}} = 336.5 \pm 0.5$ К. Точность поддержания температуры АЧТ $= \pm 0.25$ К. Температура полости АЧТ проверялась предварительно прокалиброванной хромель-копелевой термопарой. Дополнительная погрешность измерения температуры АЧТ связана с точностью абсолютной калибровки термопары и вносимой ею дисбалансом теплового поля.

Таблица 1. Параметры используемых фильтров

Номер фильтра	Фотометрическая полоса	$\lambda_{\text{эф}}$, мкм	$\Delta\lambda$, мкм	P , %
1	J	1.25	0.20	68
2	H	1.62	0.40	87
3	K	2.20	0.22	65
4	L	3.55	0.07	57

Таблица 2. Пороговые характеристики фотометра

Время измерений, с	Звездная величина потока			
	1.25 мкм	1.62 мкм	2.20 мкм	3.55 мкм
10^2	8.1^m	8.2^m	7.8^m	2.6^m
10^3	9.3^m	9.4^m	9.0^m	3.8^m

С помощью АЧТ предварительно измерялись характеристики приемника излучения и подбирались оптимальные режимы его работы.

Проверялась линейность электронного тракта и его временная стабильность. Измерения показали, что существует незначительный (< 0.5 % за 1 ч) дрейф чувствительности, связанный с изменением напряжения питания предварительного усилителя. При использовании батарей питания с достаточно большой емкостью этот дрейф станет пренебрежимо малым. Измеренная частотомером средняя квадратичная относительная нестабильность модулятора при времени интегрирования 100 с за полный цикл измерения 10^3 с составила 7.2×10^{-4} , что позволяет эффективно проводить наблюдения с временем накопления $> 10^3$ с.

На телескопе АЗТ-2 были выполнены пробные наблюдения 10 стандартных звезд и звезд с известным распределением энергии в полосах J, H, K, L в диапазоне ИК-потокотков от -3^m до $+7^m$. Результаты наблюдений регистрировались на самописце НЗ99 и считывались с частотомера ЧЗ-32. Были использованы четыре интерференционных фильтра, параметры которых приведены в табл. 1. Фильтр с $\lambda = 3.5$ мкм значительно уже стандартного. В качестве пятого фильтрующего элемента использовалось оптическое стекло, пропускающее на приемник интегральное излучение в диапазоне 0.4—2.7 мкм.

Частота модуляции составляла 20 Гц при угловом расстоянии между лучами $20''$. Время накопления сигнала 10 с и 100 с. По наиболее слабому стандарту HD 105601 ($Sp A2$, $V = 7.27^m$) оценивалась проникающая способность фотометра в полосах J, H, K, по звезде ϵ CгВ ($L = 1.12^m$) в полосе L.

О пороговой чувствительности фотометра при наблюдениях на телескопе с диаметром зеркала 70 см в спектральном диапазоне 1—3.5 мкм с отношением сигнал/шум $= 1$ и временем накопления 10^2 с и 10^3 с можно судить по данным табл. 2.

Линейность фотометра оценивалась по формуле $F = -2.5 \lg N - m_0/M$, где m_0 — внеатмосферная звездная величина, N — величина отсчета прибора, M — относительная воздушная масса. Измерения показали, что в диапазоне ИК-потокотков $-1^m \div +7^m$ отклонение от линейности не превышает 5 %, при этом измеряемые звезды находились на близких воздушных массах и предполагалось, что коэффициент экстинкции в течение времени наблюдения остается неизменным.

В заключение хочу выразить благодарность Л. М. Шульману за научное руководство и постоянное внимание к работе, сотрудникам КБ-2 и В. Н. Недашковскому за помощь при изготовлении и натурных испытаниях фотометра.

1. Бехтев С. И., Иванов Ю. Н., Кирьян В. В. и др. Инфракрасный фотометр для спектральной области $\lambda\lambda$ 0,9÷2,5 мкм.— Изв. Гл. астрон. обсерватории в Пулкове, 1982, № 199, с. 125—128.
2. Мороз В. И. Звездный фотометр и спектрометр для области 1÷2,5 мкм.— В кн.: Новая техника в астрономии. М.: АН СССР, 1963, с. 149—155.
3. Пехк М. О. Определение энергетических характеристик нормальных К и М гигантов в ближней инфракрасной области спектра: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Тарту, 1981.—12 с.
4. Хозов Г. В. Одноканальный инфракрасный фотометр.— Учен. зап. Ленингр. ун-та, 1968, № 337, с. 69—77.
5. Шенаврин В. И. Инфракрасная фотометрия эруптивных звезд: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— М., 1979.—18 с.
6. Шоломицкий Г. Б., Маслов И. А., Панкратов Н. А. и др. Двухканальный фотометр для субмиллиметровых и инфракрасных наблюдений на 6-метровом телескопе БТА АН СССР.— М., 1980.— 22 с.—(Препринт/АН СССР, ИКИ; ПР—572).
7. Шоломицкий Г. Б., Прилуцкий О. Ф. Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия.— М., 1979.—172 с.—(Итоги науки и техники. Сер. Исслед. косм. пространства / ВИНТИ. Т. 14.)
8. Glass I. S. The JNKL colours of galaxies.— Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1973, 164, p. 155—168.

Главная астрономическая обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию
16.07.1984