

# Компенсатор атмосферной дисперсии спекл-поляриметра 2.5-м телескопа

Б. Сафонов

9 сентября 2015 г.

## 1 Определение параметров призм

Компенсатор будет представлять собой две одинаковые призмы прямого зрения, установленные в пучке последовательно. На рисунке 1 представлена диаграмма угловых дисперсий призм компенсатора. Модули векторов  $\vec{d}_1$  и  $\vec{d}_2$ , постоянны, ориентацией векторов относительно оси  $OX$  (углы  $\chi_1$  и  $\chi_2$ ) мы можем управлять независимо. Таким образом вектор полной дисперсии  $\vec{d}_t = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$  может быть произвольно ориентирован ( $\chi = (\chi_1 + \chi_2)/2$ ), также можно варьировать его модуль  $d_t = 2|\vec{d}| \sin(\Delta\chi)$ .

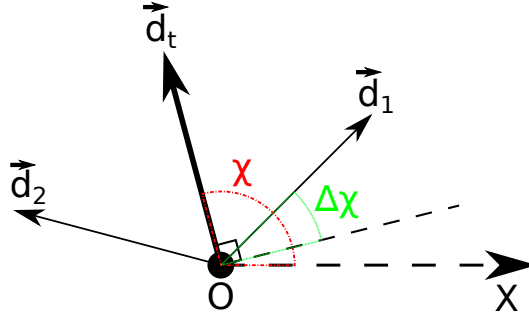


Рис. 1: Угловые дисперсии призм компенсатора дисперсии. Ось  $OX$  задает опорное направление вдоль возрастания горизонтальной оси детектора в режиме электронного усиления. Смотрим на фокальную плоскость со стороны детектора к телескопу.  $\vec{d}_1$  и  $\vec{d}_2$  — индивидуальные вектора дисперсии призм.  $\vec{d}_t$  — вектор суммарной дисперсии. Углы  $\chi$  и  $\Delta\chi$  отсчитываются против часовой стрелки.

Обозначим  $n_a(\lambda)$  зависимость показателя преломления воздуха от длины волны, ее мы взяли на одном надежном сайте. Угловая атмосферная дисперсия:

$$d'_a = (n_a - 1)tgz, \quad (1)$$

где  $z$  — зенитное расстояние.

Спекл-поляриметр предполагается использовать на телескопах диаметром до 6 м и зенитных расстояниях до  $50.5^\circ$ . Компенсатор атмосферной дисперсии будет установлен в параллельном пучке диаметром 2.5 мм. Таким образом, полное увеличение угловой дисперсии  $m = 2400$  раз.

Одна призма должна компенсировать половину этой дисперсии  $d_p = |\vec{d}_1| = |\vec{d}_2| = (m/2)|\vec{d}'_a|$ . Кроме того, мы не будем компенсировать рефракцию, т.к. она исправляется наведением телескопа в правильное место.

В качестве материалов для призмы мы рассмотрели стекло Ф1 в качестве тяжелого и БК8, ЛК5, ЛК7, плавленый кварц в качестве легких. Конфигурация призмы и обозначения углов см. на рис. 2. Обозначим отклонение пучка призмой как  $d_p$ . Мы минимизировали величину

$$\sum_{i=1}^N (d_p(\lambda_i) - d_a(\lambda_i))^2, \quad (2)$$

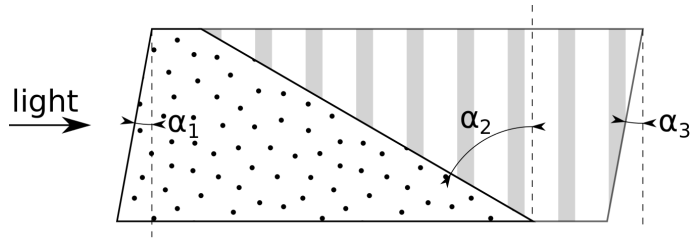


Рис. 2: Разрез одной из призм компенсатора атмосферной дисперсии.

где  $\lambda$  изменяется от 400 до 900 нм. При минимизации подбирались значения углов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ . При расчете был использован закон Снеллиуса и зависимости показателей преломления, взятые на надежном сайте. Результаты приведены в таблице 1. Как видим, наименьшие углы имеет призма из Ф1 и кварца, причем свет входит через сторону, с которой Ф1.

Две призмы с углами  $\alpha_1 = -18.7^\circ$ ,  $\alpha_2 = 58.5^\circ$  и  $\alpha_3 = 3.6^\circ$  из стекла Ф1 и плавленого кварца были изготовлены в RIVoptics.

Таблица 1: Углы наклона торцов призм, составляющих компенсатор. Оптимизация для атмосферной дисперсии при зенитном расстоянии  $z = 50.5^\circ$ , увеличении 2400 раз, исправляем половину дисперсии. Расчет для разного порядка материалов. Первый материал в паре — это тот, со стороны которого входит пучок.

материалы	углы наклона		
	$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$	$\alpha_3, ^\circ$
Ф1–кварц	-18.7	58.5	3.6
кварц–Ф1	9.0	65.1	-20.8
Ф1–БК8	-15.3	74.0	4.0
БК8–Ф1	7.6	81.1	-22.0
Ф1–ЛК5	-18.2	61.6	3.5
ЛК5–Ф1	9.2	68.5	-20.7
Ф1–ЛК7	-18.0	62.4	3.8
ЛК7–Ф1	9.5	69.5	-20.7

## 2 Использование и ожидаемая эффективность призм Ф1–кварц

Предположим, что мы хотим компенсировать атмосферную дисперсию на некотором зенитном расстоянии  $z$ , в фотометрической полосе  $F(\lambda)$ . В этом случае мы должны варьировать  $\Delta\chi$  так, чтобы минимизировать величину

$$\sum_{i=1}^N F^2(\lambda_i) (d_p(\lambda_i) 2 \sin(\Delta\chi) - d'_{a,0}(\lambda_i) m \operatorname{tg} z + \delta')^2, \quad (3)$$

где  $d'_{a,0}(\lambda)$  — постоянная атмосферной дисперсии. Как видно, мы также допускаем полное смещение изображения  $\delta$ .

Подстановки  $2 \sin \Delta\chi = \gamma m \operatorname{tg} z$  и  $\delta' = \delta m \operatorname{tg} z$  позволяют избавиться от зависимости от зенитного расстояния в этом выражении:

$$\sum_{i=1}^N F^2(\lambda_i) (d_p(\lambda_i) \gamma - d'_{a,0}(\lambda_i) + \delta)^2. \quad (4)$$

Величину  $\gamma$  мы и будем оптимизировать для каждого фильтра. Результаты приведены в таблице 2. Заметим, что в программе **Sparkle** эта величина вводится в виде  $\gamma m/2$  (параметр `filter1ADCCcoef` для фильтра 1).

Таблица 2: Управляющий коэффициент  $\gamma$  для имеющихся призм и разных фотометрических полос. Также в третьей колонке приведено остаточное смещение  $\delta$  в угловой мере. EO84783 — фильтр полушириной 50 нм центрированный на 500 нм, EO84784 — тоже, но центрированный на 550 нм, EO86953 — тоже, но центрированный на 625 нм. Empty — без фильтра, кривая чувствительности детектора.

полоса	$\gamma \times 10^4$	$\delta \times 10^6, \text{RAD}$
<i>B</i>	2.60	1.51
<i>V</i>	3.22	0.14
<i>R</i>	3.78	-0.56
<i>I</i>	5.02	-1.79
EO84783	2.99	1.60
EO84784	3.20	0.53
EO86953	3.54	-0.69
empty	3.14	-0.14

На рис. 3 приведены зависимости остаточных отклонений в пределах фотометрических полос для случая  $m = 1000$ ,  $\text{tg } z = 1$ . Результаты представлены в линейной мере, в пикселах для фокуса объектива 160 мм и пиксела размером 15 мкм.

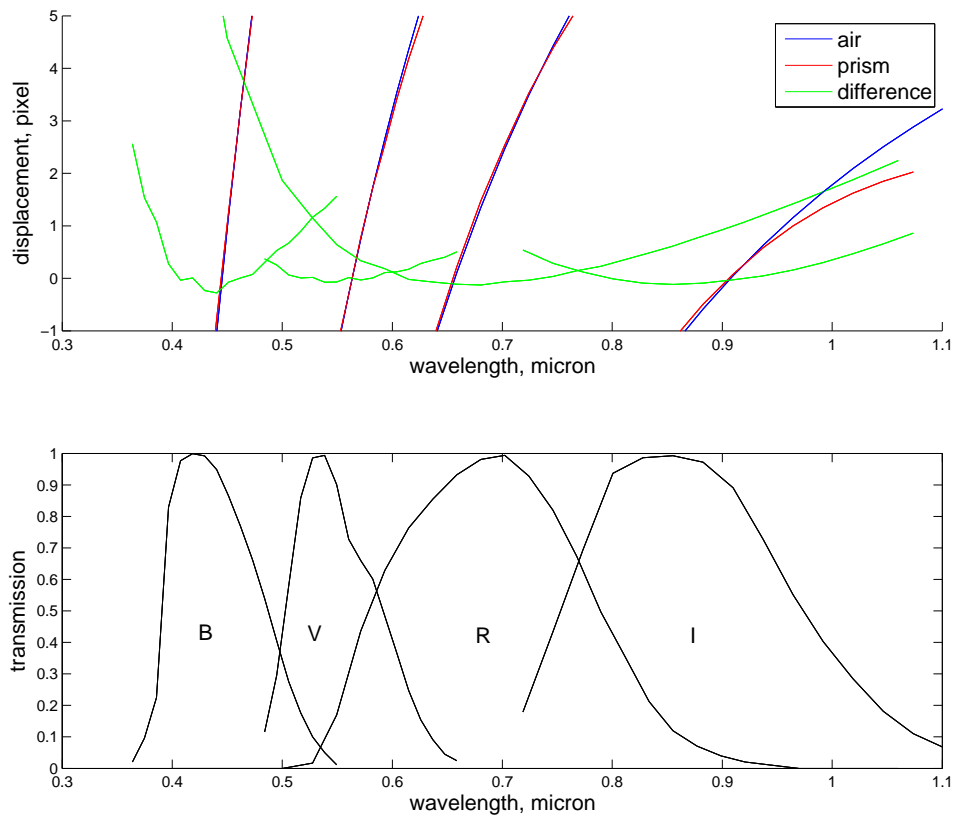


Рис. 3: Верхняя панель: линейное отклонение пучка в пикселах за счет дисперсии воздуха, призмы и их разность. Дисперсия рассчитана для 2.5 м телескопа ( $m = 1000$ ), зенитного расстояния  $45^\circ$ , фокуса объектива 160 мм и пиксела размером 15 мкм. Нижняя панель: пропускание фильтров.

### 3 Требования к точности угла поворота призм

Отклонение угла поворота одной из призм  $\theta$  от оптимального значения  $\theta_o$  будет приводить к появлению паразитной дисперсии. Оценим ее:

$$\Delta = [\cos(\theta_o) - \cos(\theta)]|d_p(\lambda_1) - d_p(\lambda_2)|, \quad (5)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  — края полосы.

Накладывая ограничение на линейную меру паразитной дисперсии 4 мкм (на детекторе при фокусе последнего объектива 125 мм), оценим требования к точности установки угла в месте наибольшей чувствительности (при  $\theta \rightarrow 0$ ). Эти требования:  $0.36^\circ, 0.80^\circ, 0.66^\circ, 1.3^\circ$ , для полос  $B, V, R, I$ , соответственно.