

# Дисторсия призм компенсатора атмосферной дисперсии спекл-поляриметра 2.5-м телескопа

Б. Сафонов

9 ноября 2016 г.

Компенсатор дисперсии представляет собой две призмы прямого зрения, независимо вращаемые около оптической оси. Применяется для создания дисперсии равной по модулю, но противоположной по направлению атмосферной дисперсии. Как и любые другие призмы компенсатора вносят дисторсию — искажение масштаба пластинки. В первом приближении можно считать что дисторсия возникает только в направлении дисперсии призмы. Вследствие того, что призмы вращаются, в том числе и в процессе получения серии, дисторсия вызываемая ими изменяется. Для ее устранения требуется некоторая модель, которая позволила бы предсказывать дисторсию при известных углах поворота призм. Обозначим углы поворота призм как  $\chi_1$  и  $\chi_2$ . Введем также  $\chi$  — средний угол и  $\Delta\chi$  — равный 90 градусов минус полуразность углов. Таким образом, при  $\Delta\chi = 0$  дисперсии призм направлены друг против друга.

Мы рассмотрели две модели дисторсии, которые обозначим V1 и V2. Модель V1 предполагает, что первая призма вносит искажение, описываемое матрицей (при  $\chi_1 = 0$ ):

$$D_1 = \begin{pmatrix} e & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для получения вектора искаженных координат нужно умножить справа эту матрицу на вектор исходных координат. Вторая призма действует похожим образом при  $\chi_2 = 0$ :

$$D_2 = \begin{pmatrix} f & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Параметры  $e$  и  $f$  больше и меньше единицы, соответственно. Чтобы определить полную дисторсию призм, повернутых под некоторым произвольными углами нужно перемножить соответствующие матрицы поворота и  $D_1$  и  $D_2$ :

$$D = R(-\chi_2)D_2R(\chi_2)R(-\chi_1)D_1R(\chi_1). \quad (3)$$

Для оценки параметров  $e$  и  $f$  мы провели эксперимент с внутренним источником излучения, представляющим собой два точечных источника света. Были получены три серии изображений в которых углы  $\Delta\chi$  пробегали значения 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45°. Серии отличались средним углом, который составил 45, 90, 135° для первой, второй и третьей серии, соответственно. Для каждой комбинации углов было получено 150 кадров, которые были обработаны стандартным образом с целью оценки разделения.

На рис. 1 показано, как изменялось разделение, а также как оно описывается моделью при  $e = 1.076$  и  $f = 0.931$ , как видно, какое-то согласие есть.

В модели V2 рассмотрим матрицу, заданную при  $\chi = 0$  для обеих призм одновременно и зависящую от угла между ними  $\Delta\chi$ :

$$D(\Delta\chi) = \begin{pmatrix} a(\Delta\chi) & b(\Delta\chi) \\ c(\Delta\chi) & a(\Delta\chi) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Здесь  $a, b$  и  $c$  являются квадратичными функциями  $\Delta\chi$  (измеряемого в радианах):

$$a(\Delta\chi) = a_0 + a_1\Delta\chi + a_2\Delta\chi^2, \quad (5)$$

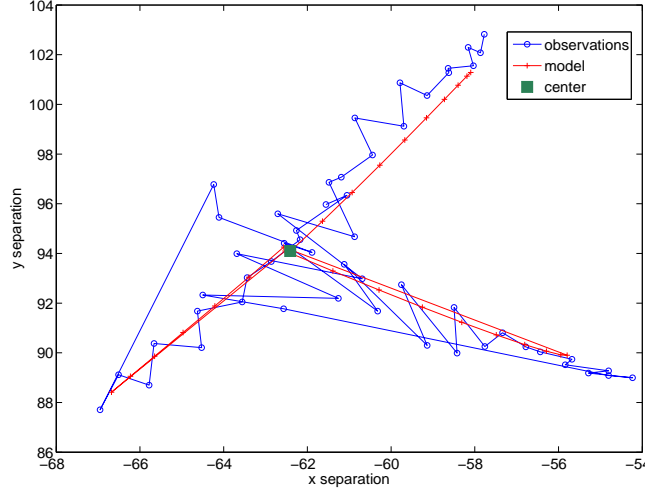


Рис. 1: Разделение тестового двойного источника при различных углах поворота призм компенсатора дисперсии. Описание моделью V1.

$$b(\Delta\chi) = b_0 + b_1\Delta\chi + b_2\Delta\chi^2, \quad (6)$$

$$c(\Delta\chi) = c_0 + c_1\Delta\chi + c_2\Delta\chi^2. \quad (7)$$

Чтобы определить дисторсию призм, повернутых под некоторым произвольным углом  $\chi$  нужно умножить матрицу  $\mathbf{D}(\Delta\chi)$  справа на матрицу поворота на угол  $\chi$ , а затем слева на матрицу поворота на угол  $-\chi$ :

$$\mathbf{D}(\chi, \Delta\chi) = \mathbf{R}(-\chi)\mathbf{D}(\Delta\chi)\mathbf{R}(\chi). \quad (8)$$

Были получены следующие оценки параметров:  $a_0 = 0.9984, a_1 = 0.0043, a_2 = 0.0198, b_0 = 0.0252, b_1 = 0.2365, b_2 = 0.1097, c_0 = 0.0207, c_1 = 0.1904, c_2 = 0.0699$ . Весьма примечательно, что  $a_0 \neq 1, b_0 \neq 0, c_0 \neq 0$ , что говорит о том, что когда призмы выставлены друг против друга и их полная ожидаемая дисперсия равна нулю, их дисторсия отнюдь не обращается в ноль.

Данный эксперимент был повторен при положении источника в верхней и нижней части поля зрения. Результат приведен на рис. 3, также показано как данные описывает модель. Как видно, в верхней части кадра эффект дисторсии другой. Это связано с тем, что свет идущий в разные части поля зрения, падает на призмы под разными углами. Данное обстоятельство приводит к тому, что компенсация дисторсии моделями V1 и V2 оказывается не совсем точна.

Для оценки этой точности мы наблюдали двойную WDS05499+3147 в сессию 5D (фокус Нэсмита) при различных углах разведения призм  $\Delta\chi$ : 0, 10, 20, 35°. Компенсация дисторсии производилась методом V1. Результаты приведены в таблице 1 в форме относительного отклонения разделения и абсолютного отклонения позиционного угла  $\theta$  от случая  $\Delta\chi = 0^\circ$ . Дополнительно приведены результаты для ADS3353 и ADS7639, полученные также в сессию 5D. В дальнейшем будем считать, что имеющаяся коррекция вносит ошибку 0.7 в разделение на каждые 10° разведения призм. Добавочную ошибку позиционного угла будем считать постоянной и равной 0.3°.

Таким образом, для корректного описания дисторсии необходимо параметры функций  $a, b, c$  определить в зависимости от положения объекта в поле, а также от углов  $\chi_1, \chi_2$ . Для этого нужно сделать тестовый источник в виде сетки точечных изображений (период около 0.5 мм). Такой источник может быть изготовлен путем укалывания фольги пучком иголок. Также можно установить в выходном зрачке дифракционную решетку. Подходящий период  $>0.16$  мм. Такая решетка может быть сделана фотографированием полос на фотопленку. Точность изготовления в обоих случаях не важна, т.к. измерения по своей природе дифференциальные.

Еще одной мерой упрощающей задачу является использование призм с меньшими углами при вершине. В данный момент ADC обеспечивает компенсацию дисперсии до зенитных расстояний 70 гра-

Таблица 1:

star	$\Delta\chi,^\circ$	$\rho/\rho_0$	$\theta - \theta_0,^\circ$
WDS05499+3147	10	1.0073	-0.27
WDS05499+3147	20	1.0143	-0.37
WDS05499+3147	35	1.0223	-0.27
WDS05499+3147	17.5	1.0135	0.12
ADS3353	3.4	0.9992	0.02
ADS7639	9.0	1.0000	-0.05

дусов. Если ограничиться скажем 45 градусами, то углы при вершинах уменьшатся почти в три раза. Также можно было бы уменьшить увеличение коллиматора, но это потребует слишком существенной переделки прибора. Призмы же в любом случае будут переделаны, т.к. имеющиеся обладают слишком большим двулучепреломлением.

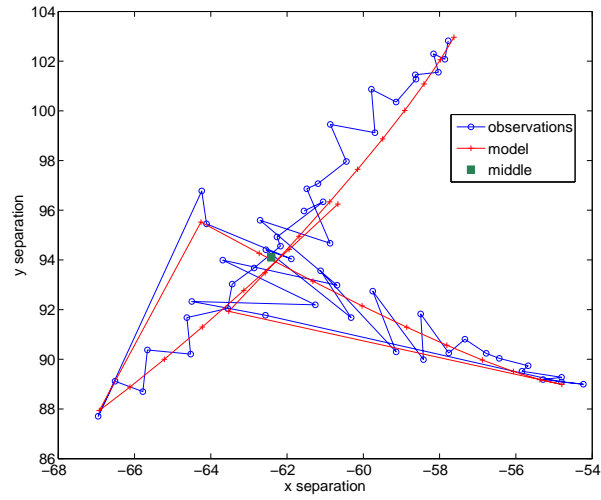


Рис. 2: Разделение тестового двойного источника при различных углах поворота призм компенсатора дисперсии. Описание моделью V2.

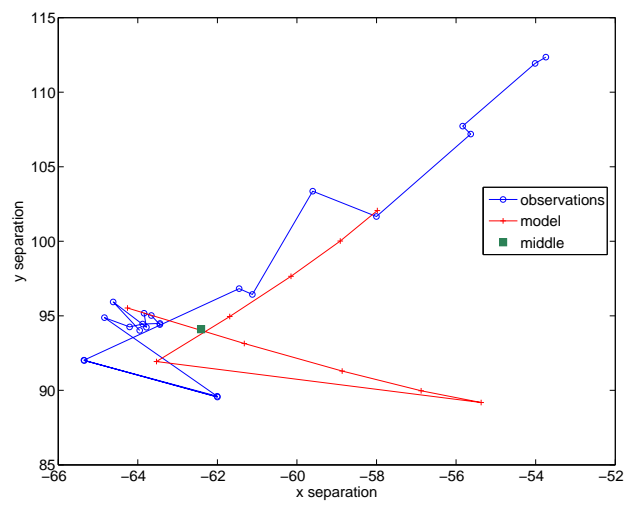


Рис. 3: Тоже, но источник в верхней части кадра. Параметры модели такие же как справа.