

ВЛИЯНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ 2-м ТЕЛЕСКОПА  
НАО "РОЖЕН" НА ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЗВЕЗД

Д. Колев и Ив. Статева

1. ВВЕДЕНИЕ.

Куде-спектрограф 2-м телескопа Болгарской Национальной астронамической обсерватории оснащен изготовленным в САО АН СССР ахроматическим зеемановским анализатором, аналогичным анализатору 6-м телескопа САО /Найденев, Чунтонов, 1976/. Принцип работы подобных устройств заключается в одновременной регистрации на одной и той же фотопластинке спектров двух пучков света звезды с противоположной круговой поляризацией в первоначальном достигающем анализатор общем пучке - Бебкок /1967/. Наличие продольной компоненты магнитного поля в областях звездной атмосферы, где формируются линии поглощения, приводит к относительному смещению длин волн магниточувствительных линий в обоих спектрах в соответствии с закономерностями эффекта Зеемана /Бебкок, 1967/.

Для правильной интерпретации любых поляриметрических измерений необходим учет инструментальных эффектов, заключающихся в изменении состояния поляризации первоначального светового пучка после прохождения через оптическую систему до анализатора. В частности, для фотографических зеемановских анализаторов круговой поляризации необходимо учитывать изменение состояния поляризованного по кругу света. Настоящая работа посвящена исследованию этого вопроса на конкретном примере 2-м телескопа НАО "Рожен".

## 2. ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА В 2-м ТЕЛЕСКОПЕ. УЧЕТ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ.

Куде-система 2-м телескопа НАО реализована пятью отражениями от алюминированных покрытий - Рис.1. Анализатор "А" смонтирован перед 5-ом куде-зеркалом и поэтому оно не вносит искажений. Как известно /см. напр. Борн, Волф, 1973/ при отражении электромагнитной волны от металлической поверхности состояние поляризации волны меняется по следующим причинам: -а- компоненты  $E$ -вектора в направлениях перпендикулярном и параллельном плоскости падения отражаются с появлением разности фаз, зависящей от длины волны и угла падения ; -б- коэффициенты отражения для обеих компонент разные и по-разному зависят от длины волны и угла падения.

<sup>1</sup> > Свойства металлических покрытий астрономической оптики меняются со временем и лучшим путем учета инструментальной поляризации является ее прямое измерение и компенсация подходящими устройствами - компенсаторами. При невозможности прямой компенсации обязательной является хотя бы оценка влияния инструментальной поляризации на измеряемые поля.

В нашем случае существенной оказывается только поляризация вызываемая плоскими зеркалами 3 и 4 на Рис.1 так как на главное и вторичное зеркала пучек падает почти нормально к поверхностям. Зеркала 3 и 4 можно в первом приближении считать абсолютно одинаковыми, а углы падения для обоих постоянные и равны  $45^\circ$ .

Исследование инструментальной поляризации проведено по известной методике /см. напр. Нарай, 1982/, состоящейся в вычислении преобразования вектора Стокса  $I_0 = \{I, Q, U, V\}_0$  первоначального пучка после соответствующего числа отражений. Напомним физический смысл компонент вектора Стокса -  $I$  - ин-

тенсивность света,  $Q$  и  $U$  описывают состояние линейной поляризации, а  $V$  - круговой поляризации.

Обозначим коэффициенты отражения в направления  $\perp$  и  $\parallel$  плоскости падения /определяемой волновым вектором света и нормалью к отражающей поверхности/ соответственно  $R_{\perp}$  и  $R_{\parallel}$ , а сдвиг фазы между двумя компонентами  $E$ -вектора -  $\alpha$ . Введем еще обозначения

$$\begin{aligned} k &= R_{\perp} \cdot R_{\parallel}, \\ X &= R_{\perp} / R_{\parallel}. \end{aligned} \quad /1/$$

Преобразование вектора Стокса после однократного отражения можно записать следующим образом /Нарий, 1982/ :

$$I = k \cdot M(X, \alpha) \cdot I_0, \quad /2/$$

где  $M$  - матрица Мюллера для этого преобразования:

$$M(X, \alpha) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(x^{-1}+x) & \frac{1}{2}(x^{-1}-x) & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}(x^{-1}-x) & \frac{1}{2}(x^{-1}+x) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}. \quad /3/$$

Перед вычислением преобразования от зеркала 4 необходимо учесть влияние поворота зеркала 3 по отношению к зеркалу 4 при наведении на звезду с деклинацией  $\delta$ . Легко заметить, что если телескоп находится к востоку от колонны /т.е., к востоку от меридиана/, угол поворота координатных осей, заданных каким-нибудь образом на обоих зеркалах, будет  $\gamma' = 90^\circ - \delta$ , а если телескоп находится в западном положении  $\rightarrow 90^\circ + \delta$ . При выражении преобразования Стокс-вектора после двух отражений необходимо ввести и матрицу вращения  $C(\gamma)$ .

$$C(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\gamma & \sin 2\gamma & 0 \\ 0 & -\sin 2\gamma & \cos 2\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad /4/$$

С учетом вращения координатных осей преобразование Стокс-вектора после зеркала 4 запишется так:

$$I = k_4 k_3 \cdot [M(X_4, \alpha_4) C(\gamma') M(X_3, \alpha_3)] \cdot I_0, \quad /5/$$

причем, как можно убедиться прямым расчетом, для Стокс-параметра V результат не зависит от положения телескопа по отношению к меридиану.

В явном виде /для определенности при восточном положении телескопа/ преобразование /5/ после подстановки  $\delta = -\delta'$  записывается следующим образом:

$$\begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix} = k^2 \cdot \begin{pmatrix} A^2 + B^2 \cos 2\gamma & AB(1 + \cos 2\gamma) & B \cos \alpha \sin 2\gamma & -B \sin \alpha \sin 2\gamma \\ AB(1 + \cos 2\gamma) & B^2 + A^2 \cos 2\gamma & A \cos \alpha \sin 2\gamma & -A \sin \alpha \sin 2\gamma \\ -B \cos \alpha \sin 2\gamma & -A \cos \alpha \sin 2\gamma & \cos^2 \alpha \cos 2\gamma - \sin^2 \alpha - \sin \alpha \cos \alpha \cdot (1 + \cos 2\gamma) & \\ -B \sin \alpha \sin 2\gamma & -A \sin \alpha \sin 2\gamma & \sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos 2\gamma) & \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \cos 2\gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix} \cdot /6/$$

где  $A = \frac{1}{2} (X^{-1} + X)$ ,  $B = \frac{1}{2} (X^{-1} - X)$ .

Корректность /6/ можно проверить подстановкой параметров идеального отражения:  $X=1, k=1, \alpha = 180^\circ$  /Борн, Волф, 1973/. Как и следовало ожидать, в этом случае преобразование просто сводится к повороту координатных осей на угол  $\delta'$ .

Поскольку в первоначальном пучке для нас интерес представляют только поляризованные по кругу компоненты /анализатор выявляет только их/, вектор  $I_0$  можно считать представленным в виде

$$I_0 = \{I_0, 0, 0, \pm V_0\} . \quad /7/$$

Очевидно, что после преобразования /6/ в векторе  $I$  появятся и компоненты  $Q$  и  $U$ , характеризующие возникшую инструментальную линейную поляризацию. Очевидно также, что параметр  $|V|$  уже будет меньше первоначального  $|V_0|$ . В удобном и наглядном представлении параметров Стокса сферой Пуанкаре /Борн, Волф, 1973/ состояние поляризации  $\pm V_0$  задается полюсами сферы - Рис.2 а -, причем  $|V_0| = I_0$ , а состояние поляризации входящего в анализатор пучка отобразится некоторой удаленной от полюса точкой на сфере меньшего радиуса /из-за потери интенсивности при отражении/ - Рис.2 б .

Если первоначальная степень круговой поляризации равна

$$p_0 = \frac{|V_0|}{I_0} = 1 , \quad /8/$$

то в дошедшем до анализатора пучке она будет

$$p = \frac{|V|}{I} < 1 . \quad /9/$$

Следовательно, инструментальная линейная поляризация должна привести к уменьшению регистрируемого с помощью анализатора Зеемановского эффекта. Поэтому если анализатор, как на 2-м телескопе, работает без компенсатора, необходимо исправлять измеренное поле  $H_e$ , чтобы получить истинную величину эффективного продольного магнитного поля  $H_{e0}$  :

$$H_{e0} = H_e (1 + P) , \quad /10/$$

где поправку  $P$  удобно брать в долях к непосредственно измеряемому полю  $H_e$ .

Входящие в /6/ величины  $X$  и  $\ll$  ~~нужны~~ необходимо измерять непосредственно, но пока в НАО нет подходящего оборудования. Поэтому при вычислениях нами использовались опубликованные

в работе Нарий/1982/ зависимости  $X$  и  $\alpha$  от длины волны и угла падения для свежеалюминированного зеркала, а также измерения для "старого" покрытия из этой же работы. Для угла падения  $45^\circ$  и  $\lambda \approx 4200 \text{ \AA}$

$$\begin{aligned} k_4 &= k_3 = k \approx 0.90 , \\ X_4 &= X_3 = X \approx 0.96 , \\ \alpha_4 &= \alpha_3 = \alpha \approx 160^\circ . \end{aligned} \quad /11/$$

Параметры отражения "старого" покрытия следующие :

$$\begin{aligned} X &= 0.83 , \\ \alpha &= 155^\circ . \end{aligned} \quad /12/$$

Результаты вычисления зависимости поправки  $P$  от деклинации наблюдаемого объекта представлены на Рис.3. Рядом с кривыми приводятся значения  $X$  и  $\alpha$ . Видно, что инструментальные эффекты должны сильно зависеть от параметров отражения. Действительная картина сложнее, так как зеркала 3 и 4 эксплуатируются в отличающихся условиях и процессы старения покрытий наверное отличаются. Поэтому на полученные оценки следует смотреть скорее как на нижнюю границу возможных эффектов.

### 3. ВЫВОДЫ.

Проведенный анализ влияния инструментальной линейной поляризации 2-м телескопа НАО при измерении продольных звездных магнитных полей показывает, что уменьшение регистрируемого эффекта может достигать почти 70%, что требует очень точного учета. Неудобство усугубляется также тем, что уменьшение измеряемого поля увеличивает ошибку этих измерений и соответственно, уменьшает надежность конечного результата.

Поскольку среднеквадратическая ошибка определения полей по фотографическим наблюдениям порядка  $100 + 300 \text{ Гс}$ , можно считать, что для обычно встречаемых у  $A$ -звезд полей в 1-5

кГс ошибка порядка 10% из-за неучета инструментальной поляризации несущественна и в первом приближении ее можно пренебречь для звезд с  $|\delta| \leq 30^\circ$ . Во всех остальных случаях необходим учет или, что предпочтительнее, компенсация инструментальных эффектов.

INFLUENCE OF THE INSTRUMENTAL POLARIZATION OF THE  
2-m TELESCOPE AT NAO "ROZHEN" ON THE MEASUREMENTS  
OF STELLAR MAGNETIC FIELDS

D. Kolev and I. Stateva

ABSTRACT :

The influence of the instrumental linear polarization on the measurements of stellar magnetic fields by the photographic Zeeman analyser of the coude-spectrograph at NAO is taken into account. The transformations of the Stokes-parameters for different declinations of the stars observed are calculated and the correction on the fields measured, when no compensator is in use during the observations, is plotted.

Because of the high degree of influence of the instrumental effects on the results of the measurements, it is desirable to use a compensator when the declination is more than  $30^\circ$ .

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- Бабкок (Babcock H.W.), 1967, в кн. "Методы астрономии", ред.  
В.А.Хилтнер, М., "МИР", стр.100.
- Борн М., Волф Э., 1973, Основы оптики, изд.2, М., "НАУКА", 571.
- Найденев И.Д., Чунтонов Г.А., 1976, Сообщ.САО, 16, 63.
- Нарияй (Nariai K.), 1982, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*,  
Ser. XIX, №1, p.55.

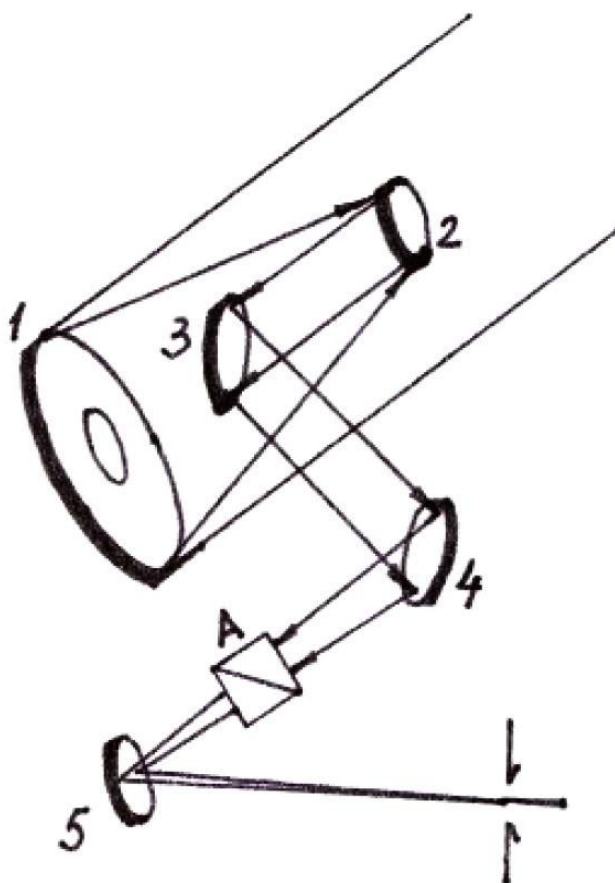


РИС.1. Оптическая схема системы куде 2-м телескопа НАО.  
Цифрами обозначены зеркала, реализующие систему,  
"А" обозначает место монтажа зеemanовского ана-  
лизатора.



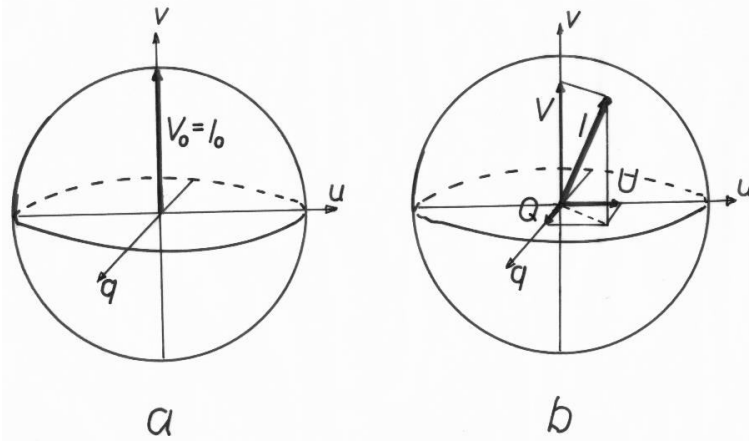


Рис.2. Представление состояния поляризации сферой Пуанкаре:  
 -а- полностью круговая поляризация ;  
 -б- произвольная поляризация.

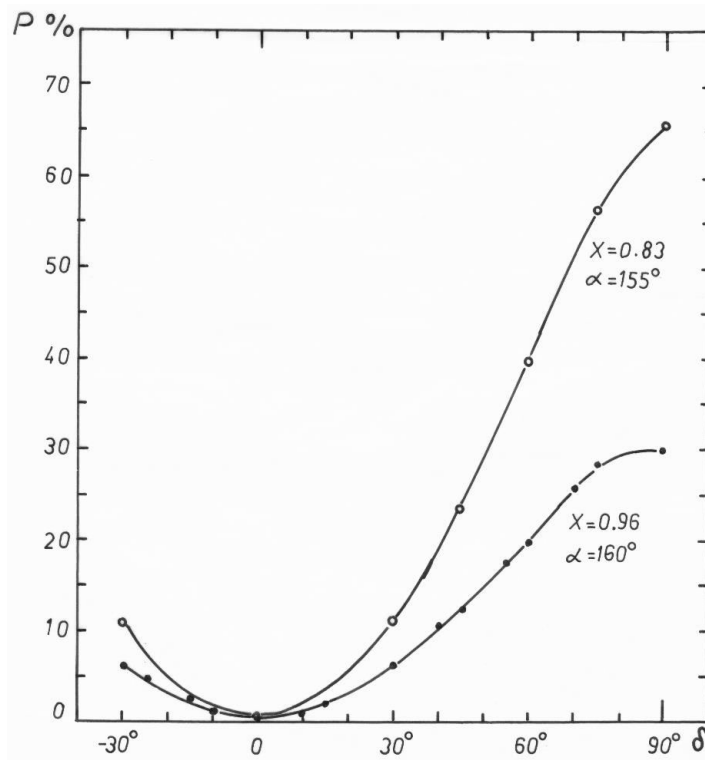


Рис.3. Зависимость поправки  $P$ , на которую нужно увеличить модуль измеренного магнитного поля, для оценки истинного значения поля, от деклинации наблюдаемого объекта. Рядом с каждой кривой даны значения параметров отражения с которыми рассчитаны зависимости.