

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ АППРОКСИМАЦИИ I-ПРОФИЛЕЙ СТОКСА

Тлатов А.Г.^{1,2}, Березин И.А.^{1,2}

¹*Горная астрономическая станция ГАО, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий Государственный Университет, Элиста, Россия*

RECONSTRUCTION OF A LARGE-SCALE MAGNETIC FIELD BY APPROXIMATION OF I-STOKES PROFILES

Tlatov A.G.^{1,2}, Berezin I.A.^{1,2}

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Russia*

²*KalmSU, Elista, Russia*

We present a procedure for restoring the magnetic field based on observations of the full profile of spectral magnetic lines. The method is based on a fast algorithm for finding approximation curves for complete profiles of magnetically sensitive lines 6301A and 6303A. The magnetic field is calculated as the distance between the centers of the I-profiles of different polarization components. This approach allows calculations to be performed fairly quickly without the need to analyze the V-profiles of Stokes in various approximations. The presented method makes it possible to reduce noise in large-scale magnetic field maps and improve the accuracy of measurements, primarily of weak fields. The method has been tested to restore a large-scale magnetic field based on observations on the telescope-magnetograph of the full disk of the Sun STOP (Kislovodsk).

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-263-266

Введение

На Кисловодской Горной Астрономической станции работает телескоп-магнитограф СТОП, разработанный на базе спектрографа системы Литрова. Для разделения компонент излучения в правой и левой круговой поляризации в оптической схеме присутствует модулятор на основе электрооптического кристалла. При подаче высокого знакопеременного напряжения на обкладки кристалла оптические свойства модулятора меняются, и он пропускает излучение или с положительной, или с отрицательной круговой поляризацией. Важной особенностью телескопа является наличие полуволновой фазовой пластинки, предназначенной для устранения эффекта инструментальной поляризации.

Магнитографы разделяются на фильтровые магнитографы и спектрографы. В фильтровых магнитографах изображение Солнца фиксируется с помощью световых фильтров в одном или нескольких узких спектральных интервалах. Хотя измерения можно проводить только в одном крыле, предпочтительнее наблюдать два и более положений длин волн, симметрично распределённых вокруг центра линии, чтобы исключить влияние доплеровских сдвигов. Спектрографы же записывают полный профиль

исследуемой спектральной линии в каждой точке изображения Солнца. Основным недостатком спектрографов состоит в том, что для создания двумерных карт магнитных полей полного диска Солнца щель спектрографа должна проходить по всей солнечной поверхности. Таким образом, каденции наблюдений получаются достаточно скромными. Однако данный недостаток с лихвой компенсируется тем фактом, что полные профили линий регистрируются сразу, и это приводит к отличной спектральной целостности.

Определение интенсивности магнитного поля

Магнитографические измерения основаны на регистрации компонент излучения от элементов изображения фотосферы Солнца. Для этого нужно измерять I и V параметры Стокса для восстановления продольной компоненты магнитного поля, для чего отдельно регистрируется излучение в правой и левой круговой поляризации. Амплитуда измеряемого стоксовского сигнала V может быть преобразована в продольную напряжённость поля или, точнее, в продольный магнитный поток.

При интерпретации наблюдений магнитографа СТОП основная проблема – крайне высокие инструментальные шумы, вызванные, по всей видимости, особенностями спектрографа Литрова. На измеряемых спектрах эти шумы проявляются в виде повторяющихся широких дугообразных полос. Этот паразитный сигнал вряд ли можно устранить на этапе обработки, поскольку от измерения к измерению положение полос меняется. По той же причине при вычислении V -профилей Стокса эти шумы только множатся. Амплитуда этого паразитного сигнала сопоставима с амплитудой полезного стоксовского сигнала, что затрудняет применение таких методов, как метод центра тяжести.

Для определения профиля спектральной линии на разрезах вдоль спектра мы вписываем гауссиану. Как правило, для аппроксимации используют метод градиентного спуска Levenberg-Marquart (L-M). Поскольку необходимо выполнение таких операций для всех столбцов кадра и для всех кадров скана, что требует значительного времени вычислений. Поэтому использование метода L-M для синоптических наблюдений затруднительно.

Для решения этой проблемы мы применили быстрые приближенные методы [1]. Основными методами, применяемым нами, был Guo и FAS-алгоритмы. На рис. 1 слева представлен регистрируемый участок спектра вблизи линий $6301,5 \text{ \AA}$ и $6302,5 \text{ \AA}$. Справа на рис. 1 приведена аппроксимация измерений методом Guo. Наблюдается достаточно хорошее соответствие. Это позволяет определять в измеренных спектрах положение центра магниточувствительной линии. Тогда мы можем определить напрямую расстояние на спектральной шкале между компонентами Зеемана, т.е. между центрами линий, измеренных в правой и левой круговых поляриза-

циях. Определив эти расстояния, магнитное поле можно найти, воспользовавшись соотношением:

$$\Delta\lambda_B = 4.6686 \times 10^{-10} \lambda_0^2 g_{eff} B.$$

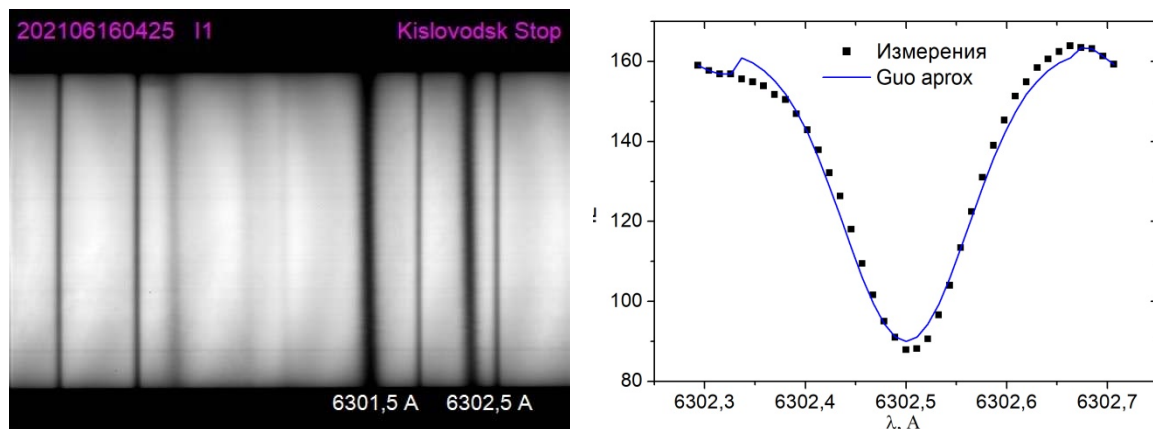


Рис. 1. Слева пример спектра в левой круговой поляризации вблизи центра солнечного диска по данным наблюдений на телескопе-магнитографе СТОП (2021.06.16). Справа разрез спектра в районе линии 6302,5 Å и аппроксимация линии методом Guo.

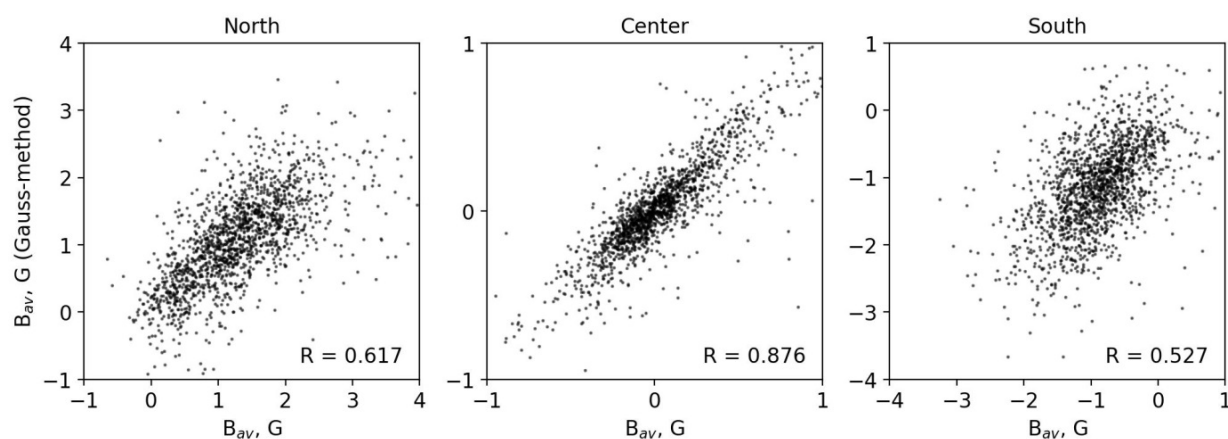


Рис. 2. Сравнение интенсивностей магнитного поля полученные методом гауссовой аппроксимации со стандартным методом, используемым в наблюдениях.

Сравнение метода аппроксимации со стандартной процедурой, используемой на СТОП [2] дает неплохие результаты (рис. 2). Благодаря этому мы можем получить довольно хорошие карты продольной компоненты крупномасштабных фотосферных магнитных полей как для ежедневных карт (рис. 3), так и для серии наблюдений (рис. 4).

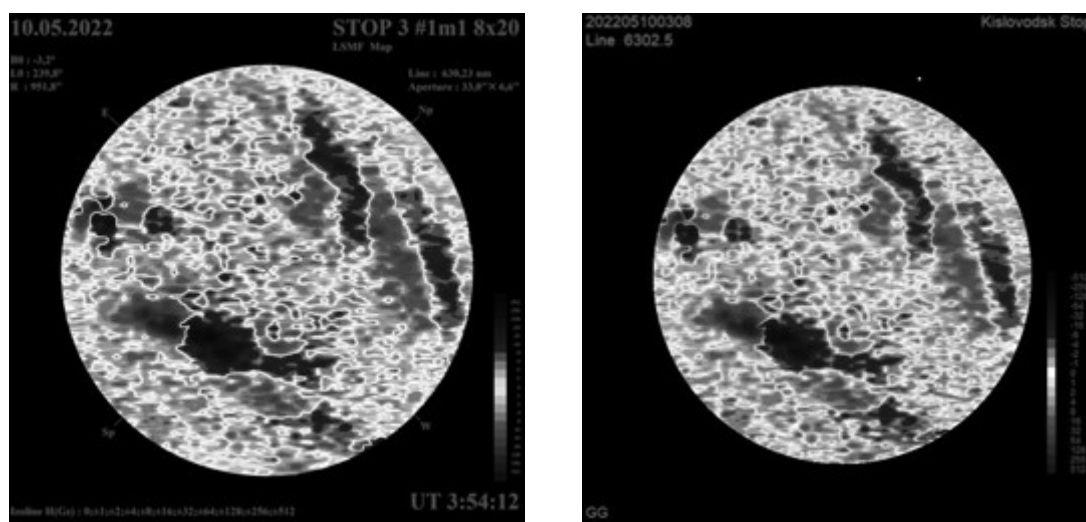


Рис. 3. Пример восстановления продольной компоненты магнитного поля по данным наблюдений на телескопе-магнитографе СТОП (2022.05.10) стандартным методом (слева) и методом аппроксимации спектральных профилей функцией Гаусса (справа).



Рис. 4. Сравнение долговременных вариаций интенсивности магнитного поля, полученные методом гауссовой аппроксимации со стандартным методом, используемым в наблюдениях.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта 075-03-2022-119/1.

Литература

1. Al-Nahhal I.; Dobre O.A.; Basar E.; et al. // IEEE Signal Processing Magazine, 2019, V. 36, N 6, p. 157–163; doi: 10.1109/MSP.2019.2927685
2. Peshcherov V.S., Grigor'ev V.M., Svidskii P.M., et al. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2013, V. 49, No. 6, pp. 578–584.