НОВЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ МАГНИТОГРАФ КРАО РАН И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Плотников А.А., Куценко А.С.

Крымская астрофизическая обсерватория, п. Научный, Крым, Россия

A NEW SOLAR CRAO MAGNETOGRAPH AND SOME FEATURES OF MAGNETIC FIELD MEASUREMENTS

Plotnikov A.A., Kutsenko A.S.

Crimean astrophysical observatory, Nauchny, Crimea, Russia

We propose a simple method to estimate the value of the magnetic field strength from Stokes I and V only. The method is based on measuring of the difference between I+V and I-V Stokes profile extrema. This difference is approximately proportional to the Zeeman splitting of the spectral line. Applying the method to Hinode/SOT-SP data showed a good agreement between our results and that obtained by the High Altitude Observatory team. We also applied our method to the first spectra measurements acquired by a new solar spectropolarimeter at the Crimean Astrophysical Observatory. The analysis also showed a good agreement between our observations and SDO/HMI measurements.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-331-334

Один из основных методов измерения магнитных полей в звездных атмосферах основан на эффекте Зеемана, который заключается в расщеплении спектральных линий атома, помещенного во внешнее магнитное поле. Расщепление всегда пропорционально модулю вектора магнитного поля [1]:

$$\Delta\lambda = g \frac{\lambda_0^2 e}{4\pi m_e c^2} |B|, \quad (1)$$

где g – Ланде-фактор линии, λ_0 – несмещенная длина волны линии, e – заряд электрона, m_e – масса электрона, c – скорость света.

Измерение поляризации зеемановского мультиплета позволяет определить направление вектора магнитного поля относительно луча зрения: продольное магнитное поле приводит к излучению с круговой поляризацией, поперечное – с линейной.

Измерения линейно-поляризованного света сильнее подвержены зашумлению от посторонних источников, нежели свет круговой поляризации. Однако, использование лишь компонент, поляризованных по кругу (соответственно, лишь I и V компонент вектора Стокса), позволяет провести оценку и продольной составляющей магнитного поля, и модуля его вектора, и, как следствие, – наклона его к лучу зрения.

Оценить продольную составляющую магнитного поля позволяет, например, приближение слабого поля. Из уравнений переноса следует (см., например, [1]), что интенсивность V-компоненты вектора Стокса пропорциональна продольной компоненте магнитного поля:

$$V(\lambda) = -\frac{dI}{d\lambda} g \Delta\lambda \cos\theta = -\frac{dI}{d\lambda} g \frac{\lambda_0^2 e}{4\pi m_e c^2} B_z, \quad (2)$$

где $\cos\theta$ – угол между вектором магнитного поля и лучом зрения.

Линейная зависимость сохраняется до значения, зависящего от параметров линии. Для линии Fe I 630.25 нм, используемой для анализа в этой работе, это значение составляет около 2500 Гс.

Для нахождения модуля вектора магнитного поля требуется измерить расщепление между компонентами. В слабых полях расщепление будет меньше, чем доплеровское уширение линий, однако использование круговых поляризаций позволяет «отделить» их друг от друга. При наличии продольного магнитного поля смещенные компоненты будут иметь разно-сторонние круговые поляризации [2]. Расстояние между минимумами профилей $I \pm V$ будет примерно соответствовать двойной величине зеемановского расщепления (рис. 1). Блендирование компонент будет приводить к небольшому смещению минимумов по сравнению с реальным положением смещенного компонента, однако данный эффект будет снижаться с ростом величины магнитного поля. Таким образом, измерив разность между положениями экстремумов профилей $I+V$ и $I-V$, можно приближенно оценить величину модуля вектора магнитного поля из уравнения (1).

Рис. 1. Метод определения модуля вектора магнитного поля с использованием круговых поляризаций.

Для полноценного определения вектора магнитного поля требуется проводить сложную задачу инверсии профилей Стокса, подбирая множе-

ство параметров: направление магнитного поля, его градиенты, параметры атмосферы и др. Такая задача требует больших вычислительных ресурсов и качественной модели атмосферы звезды. Однако зачастую описанные выше простые закономерности позволяют получить адекватную оценку параметров магнитного поля.

Рис. 2. Диаграммы рассеяния для продольной компоненты магнитного поля (*слева*) и модуля вектора магнитного поля (*справа*).

Рис. 3. Сравнение магнитограмм продольного магнитного поля.
Слева – данные из этой работы, *справа* – данные НАО.

Рис. 4. То же, что и на рис. 3, для модуля вектора магнитного поля.

Предложенный в данной работе метод оценки магнитного поля был протестирован на данных спектрополяриметра Hinode/SOT/SP. Получен-

ные в данной работе магнитограммы сравнивались с результатами полноценной инверсии вектора Стокса, выполненной в High Altitude Observatory (HAO). На рис. 2–4 приведено сравнение для активной области NOAA 12645.

В данное время также проводится разработка и создание нового спектрополяриметра телескопа БСТ-1 Крымской астрофизической обсерватории. Для получения спектрополяриметрических данных ФЭУ были заменены на линейные ПЗС-камеры, что позволило проводить измерения спектров в поляризованном по кругу излучении. Тестовые наблюдения были проведены в течение лета 2018 г. Описанные выше методы были применены к данным, полученным на БСТ-1 (рис. 5). На рис. 5 показано сравнение магнитограмм БСТ-1 с наблюдениями инструмента SDO/HMI.

Рис. 5. Обработка данных, полученных на БСТ-1. Для сравнения справа приведена магнитограмма той же области, сделанная спутником HMI.

Как видно, описанный простой метод дает хорошие оценки модуля вектора магнитного поля. Сравнение полученных магнитограмм с результатами других научных групп показывает хорошее согласие описанных методов с данными полноценной инверсии параметров Стокса.

Литература

1. *Degl'Innocenti E.L., Landolfi M.* Polarization in spectral lines – Kluwer Acad. Publ., 2004.
2. *Брей Р., Лоухед Р.* Солнечные пятна – М.: Мир, 1967.