

ИЗМЕРЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А.А. Плотников, А.С. Куценко

Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, Россия
plotnikov.andrey.alex@yandex.ru

MEASUREMENT OF SOLAR MAGNETIC FIELDS

A.A. Plotnikov, A.S. Kutsenko

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny, Russia
plotnikov.andrey.alex@yandex.ru

Аннотация. В работе описаны методы, позволяющие оценить продольную составляющую и модуль вектора магнитного поля путем анализа спектральных профилей компонент I и V вектора Стокса. Обработкой спектрополяризметрических данных Hinode проведено сравнение предлагаемых методов с результатами полноценной ME-инверсии, проведенной в High Altitude Observatory.

Ключевые слова: измерение магнитных полей, приближение слабого поля

Abstract. In this work we describe methods for deriving longitudinal magnetic field and the absolute value of magnetic field vector by using I and V Stokes Profiles. The methods were compared with High Altitude Observatory's ME inversion for Hinode data.

Keywords: magnetic field measurement, weak field approximation.

Большая часть методов, применяемых для измерения магнитных полей на Солнце, основана на эффекте Зеемана. Он заключается в расщеплении некоторых спектральных линий атома, находящегося во внешнем магнитном поле. Важно понимать, что расщепление линий является следствием расщепления энергетических уровней в атоме, вызванного взаимодействием магнитного момента электронов с внешним магнитным полем. В результате, величина расщепления всегда будет пропорциональна модулю магнитного поля, а не какой-либо из его компонент [Degl'innocenti, Landolfi, 2004]:

$$\Delta\lambda = \frac{e|\vec{H}|}{4\pi m_e c^2} g\lambda^2 = 4.67 \cdot 10^{-5} g |\vec{H}| \lambda^2.$$

В случае достаточно сильного магнитного поля (когда магнитное расщепление превышает доплеровскую ширину линии), модуль вектора поля может быть измерен непосредственно через расстояние между расщепленными компонентами, без анализа поляризации излучения. Однако такое магнитное поле проявляется лишь в сильных солнечных пятнах. В случаях более слабого магнитного поля компоненты начинают перекрывать друг друга. Для определения величины поля эти компоненты требуются «отделить» друг от друга.

Известно, что в случае продольного магнитного поля две смещенные компоненты имеют круговую поляризацию разного направления [Брей, Лоухед, 1967]. В таком случае, сравнение профилей спектральной линии в левосторонней и правосторонней поляризациях позволяют измерить расщепление между компонентами (оно будет примерно соответствовать расстоянию между минимумами профилей λ_{spl}) и, следовательно, получить абсолютную величину вектора магнитного поля (рис. 1, а). Блендирование линий будет несколько занижать эту оценку, но с увеличением магнитного поля этот фактор будет снижаться.

Стоит отметить, что указанный метод не требует анализа линейных поляризаций излучения (компонент

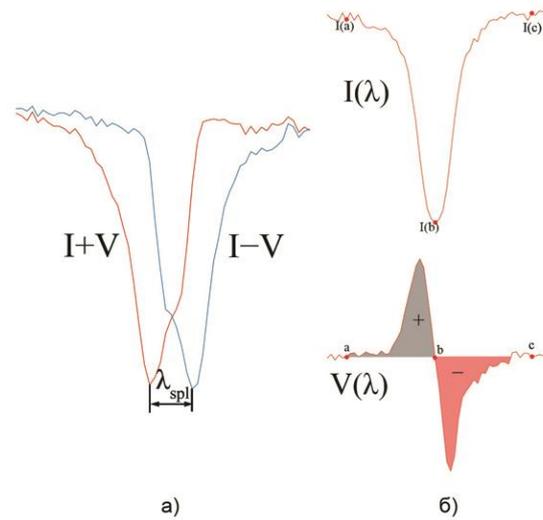


Рис. 1. Метод измерения модуля вектора магнитного поля (а) и продольной компоненты магнитного поля (б)

Q и U вектора Стокса), измерение которых затруднительнее из-за больших шумов по сравнению с круговой поляризацией.

Измерение величины продольного магнитного поля может быть произведено в приближении «слабого поля» [Degl'innocenti, Landolfi, 2004]. В данном случае величина компоненты V вектора Стокса оказывается пропорциональной продольному магнитному полю:

$$V(\lambda) = -g\Delta\lambda \cos\theta \frac{\partial I(\lambda)}{\partial(\lambda)} = -g \frac{\partial I(\lambda)}{\partial\lambda} \frac{e}{4\pi m_e c^2} \lambda^2 B_{||}.$$

Интегрированием данное выражение может быть приведено к более удобной форме:

$$B_{||} = C_{||} \frac{\int_a^b V(\lambda) d\lambda}{I(a) - I(b)}.$$

Пределами интегрирования можно поставить границу спектра и центр спектральной линии. В та-

ком случае разница $I(a)-I(b)$ будет равняться глубине линии. Для повышения точности может быть взята сумма интегралов от двух участков, взятых с соответствующими знаками (рис. 1, б).

Многие современные инструменты используют для получения магнитных полей так называемый «метод инверсии». Его суть состоит в следующем: подбирается такой набор параметров, при котором в заданной модели атмосферы аналитически рассчитанный профиль спектральной линии будет максимально совпадать с наблюдаемым. Наряду с огромной информативностью такой подход обладает и некоторыми недостатками — это и большие требования к вычислительным ресурсам, и необходимость использования правильной модели атмосферы. Также для нормального функционирования многих оптимизационных методов требуется иметь начальные, приблизительно оцененные значения искомых параметров.

В данной работе было проведено сравнение вышеописанных упрощенных алгоритмов с результатами обработки методом инверсии. Использовались данные спектрополяриметра Hinode/SOT/SP. В качестве результатов обработки методом инверсии были взяты данные High Altitude Observatory (HAO).

На рис. 2 приведено сравнение карт модуля вектора магнитного поля для двух активных областей. Слева — результаты обработки HAO, справа — результаты данной работы.

На рис. 3. — аналогично для продольной составляющей магнитного поля.

Видно, что результаты методов хорошо согласуются между собой.

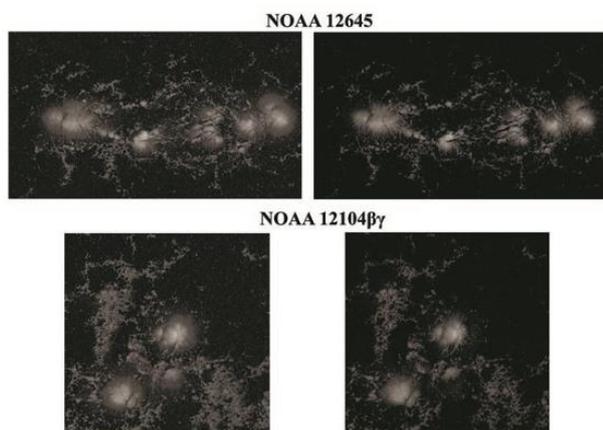


Рис. 2. Сравнение карт модуля вектора магнитного поля: слева — результаты HAO, справа — результаты данной работы

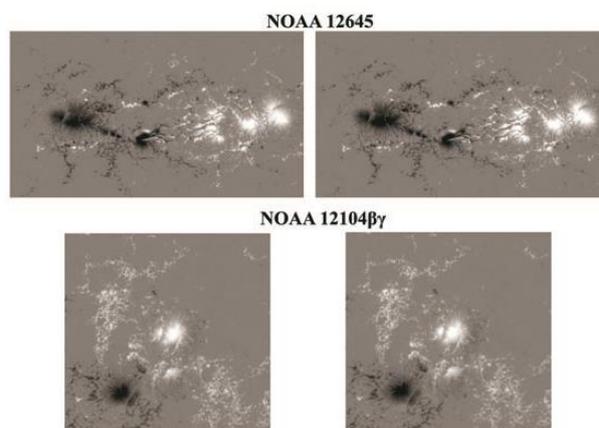


Рис. 3. Сравнение карт продольного магнитного поля: слева — результаты HAO, справа — результаты данной работы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна М.: Мир, 1967. С. 219.
 Degl'innocenti E.L., Landolfi M., Polarization in spectral lines // Kluwer Academic Publishers. 2004. P. 890.