К определению высоты основания короны над солнечными пятнами

Т.И. Кальтман[1], А.Н. Коржавин[1], М. Кльваня[2]

[1] С-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, С-Петербург

[2] Астрономический институт Чешской АН, обсерватория Онджеев

Одним из основных механизмов микроволнового радиоизлучения солнечных активных областей над пятнами является магнитотормозной механизм излучения тепловых электронов. Источники, связанные с солнечными пятнами, указывают на повышенные значения магнитного поля и кинетической температуры электронов. Резкий спад поляризованного спектра источников в сторону коротких длин волн указывает, что температура над пятнами быстро увеличивается с высотой в узкой переходной зоне от хромосферы к короне. Этот наблюдательный факт позволил развить один из радиоастрономических методов измерения магнитного поля в основании короны H_{cor} по поляризационным радионаблюдениям на РАТАН-600 (Akhmedov et al, 1982). Однако весьма малая высота (порядка 2000 км) основания короны осложняет ее определение наблюдательными методами, что обосновывает необходимость развития модельных методов.

По магнитографическим наблюдениям с пространственным разрешением 3–5" возможно измерить распределение магнитного поля пятна на фотосфере. В некоторых работах, например, Бумбы (1960) и Обридко (1985), было показано, что распределение напряженности магнитного поля, полученное для ряда пятен, можно согласовать с дипольным. В то же время, дипольное приближение широко используется в моделировании радиоизлучения пятенных источников. Представляя магнитное поле над пятном в дипольном приближении, можно связать между собой измеренные фотосферные и корональные значения поля и определить высоту основания короны над пятном. Для дипольной модели необходимы два параметра, которые можно определить из магнитографических наблюдений – значение фотосферного поля на оси пятна H_{phot} и глубину z_{dip} погружения диполя. Параметр H_{phot} определяется как максимальное значение магнитного поля пятна по магнитографическим измерениям, с учетом проекции продольной компоненты. Глубина погружения диполя рассчитывается в предположении, что продольная компонента вектора магнитного поля обращается в ноль на некотором расстоянии R от центра пятна. Радиус R мы определяли двумя способами: по изображению пятна в континууме как радиус полутени пятна R, спроектированный на центр солнечного диска и, согласно наблюдениям Kawakami (1983), как $1.3R$. Тогда z_{dip} и высота переходного слоя z_{cor} находятся по формулам:

$$z_{dip} = \frac{R}{\sqrt{2}} \tag{1}$$

$$z_{cor} = z_{dip}\left(\sqrt[3]{\frac{H_{phot}}{H_{cor}}} - 1\right) \tag{2}$$

На основании описанных соображений предложен метод для определения высоты основания короны по наблюдениям на радиотелескопе РАТАН-600 и на магнитографе в Онджееве (Чехия). Метод был проверен на шести одиночных симметричных пятнах. В таблице 1 указаны номера активных областей, даты их наблюдения, диаметры пятен D, угловые расстояния от центра диска θ, значения магнитного поля по радио и магнитографическим измерениям и найденные высоты. Радиусы R считались обоими указанными способами и найденные по ним высоты усреднялись.

Таблица 1. Данные измерений

активная область	дата наблюдения	D угл.сек.	θ градусы	$Hcor$ Гс	$Hphot$ Гс	$Zcor$ км
AR7552	30.07.93	38	16.1	1640	3000	2500
AR8574	07.06.99	46	32.1	1320	1510	600
AR8668	19.08.99	51	12.7	1410	3000	4300
AR8692	13.09.99	51	31.1	1740	2900	2800
AR8699	13.09.99	49	14.1	2030	2300	600
AR8694	09.09.99	28	30.3	900	1500	1500

Как видно из таблицы, для высоты основания короны получены значения от 600 до 4300 км над фотосферой пятна, среднее значение составляет 2000 км, что соответствует общим представлениям.

Чтобы уточнить, насколько дипольное приближение соответстует реальному распределению поля на фотосфере, величины магнитного поля, измеренные магнитографом на разных расстояниях от центра пятна, сравнивались с величинами, рассчитанными в дипольном приближении. На рисунке 1 представлены распределения напряженности продольной компонеты магнитного поля вдоль диаметров пятен. Ось абсцисс направлена к центру солнечного диска. Квадратами обозначены значения поля, измеренные на магнитографе, линиями – рассчитанные в дипольном приближении, внутренняя линия соответствует $R = R$, внешняя линия – $R = 1.3R$. Можно отметить общее согласие между измеренными значениями и кривыми, рассчитанными в дипольном приближении, отклонения по расстоянию от центра пятна не превышают 5–7". Пятно AR7552, которое по своему изображению лучше всего приближается к идеальному симметричному пятну, вполне точно описывается дипольным приближением на уровне фотосферы. Таким образом, видно, что дипольное приближение действительно годится для моделирования магнитного поля симметричных пятен.

Рассмотрена также возможность уточнения метода с использованием двух спектральных линий, MgI и FeI. Для каждой из линий можно по формуле (1) рассчитать глубину погружения диполя. При этом следует принять во внимание различные высоты образования спектральных линий. Определяя глубину погружения диполя по каждой из линий отдельно, можно на основе разности между ними проверить достоверность полученных результатов.

Таким образом, в данной работе обоснован метод определения высоты основа-

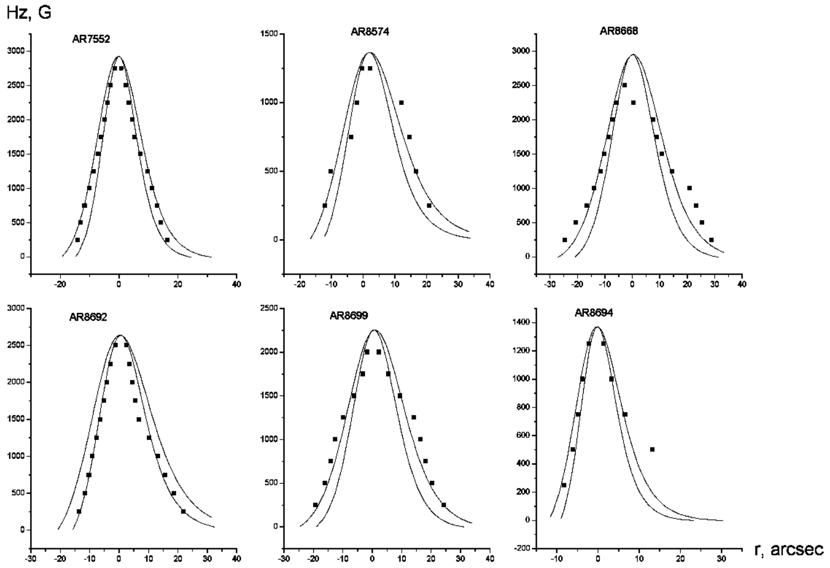

Рис.1. Распределения напряженности продольной компонеты магнитного поля вдоль диаметров пятен по направлению к центру солнечного диска

ния короны над пятнами по магнитографическим и радиоизмерениям и подтверждено, что для представления магнитного поля симметричных пятен на уровне фотосферы можно использовать дипольное приближение.

Работа поддержана грантами РФФИ 00-02-18017, GACR 205/97/0500, GAAV A3003903, Астрономия.

Литература

Sh.B. Akhmedov, G.B. Gelfreikh, V.M. Bogod, A.N. Korzhavin, 1982, Solar Phys., 79, 41

В. Бумба, 1960, Изв. Крым. астрофиз. обс., т.23

В.Н. Обридко, 1985, Солнечные пятна и комплексы активности, М., Наука

H. Kawakami, 1983, Publ. Astron. Soc. Japan, 35, 459