

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОПЕРЕК ТЕНИ ПЯТЕН ПО ЛИНИЯМ ПОГЛОЩЕНИЯ Fe I, Zr I И Y I

М. Дж. Гусейнов

Измерены напряженности магнитных полей H поперек тени большого пятна гр. № 361 (нумерация по «Солнечным данным») по пяти линиям поглощения с различной чувствительностью к температуре. Зеемановские спектрограммы в двух диапазонах длин волн (λ 6125—6175 Å и λ 6410—6460 Å) получены на МБСТ Крымской астрофизической обсерватории АН СССР 30, 31.10 и 01.11 1972 г. Сравниваются распределения значений H поперек тени пятен, определенных по простым триплетам Зеемана Zr I λ 6127,5 Å, λ 6143,2 Å, Fe I λ 6173,3 Å, λ 6420,0 Å и Y I λ 6435,0 Å, которые в спектре ядра имеют приблизительно одинаковую роуландовскую интенсивность.

Показано, что: 1) напряженности магнитных полей H , измеренные по двум линиям нейтрального циркония, и их распределения поперек тени пятен одинаковы; 2) места максимумов магнитного поля в ядре пятен по спектральным линиям разных элементов совпадают; 3) напряженности магнитных полей H по линиям Fe I на 200—400 Гс меньше, чем по Zr I и Y I.

Предполагается, что: а) линии нейтрального железа образуются в сплошном темном фоне, а линии циркония и иттрия — в более темных узлах тени пятен; б) все пять линий поглощения возникают примерно на одних и тех же глубинах. Делается заключение о том, что в более темных узлах тени напряженность магнитного поля H в среднем на 300 Гс больше, чем в окружающем сплошном фоне ядра пятен.

THE DISTRIBUTION OF MAGNETIC FIELD STRENGTH ACROSS THE SUNSPOT UMBRA BASED ON Fe I, Zr I AND Y I ABSORPTION LINES, by M. J. Huseynov. — The magnetic field strenghts H across the sunspot umbra N 361 (numbering according to «Solar data») are measured observing five different temperature-sensitive absorption lines. Zeeman spectrograms in two wavelength ranges (λ 6125—6175 Å and λ 6410—6460 Å) were obtained at Small tower solar telescope of the Crimean observatory in October 30, 31 and November 1, 1972. The distributions of H across the sunspot umbra determined with simple Zeeman triplets Zr I λ 6127.5 Å, λ 6143.2 Å, Fe I λ 6173.3 Å, λ 6420.0 Å, and Y I λ 6435.0 Å are compared, showing in the umbra spectrum approximately the same Rouland intensity.

It has been found, that: 1) the magnetic field strenghts H , measured with two lines of Zr I and their distribution across the sunspot umbra are the same; 2) the places of peaks of magnetic field in the sunspot umbra according to spectral lines of different elements coincide; 3) magnetic fields strength H according to Fe I-lines are 200—400 Gs lower than in Zr I and Y I — lines.

We suppose, that: a) the lines of neutral iron are formed in a continuous dark background, the Zr I and Y I-lines — in darker umbral knots; b) all five absorption lines are formed at nearly the same depths. It has been concluded, that in darker umbral knots the magnetic field strength H is, on average, 300 gauss larger than in the continuous dark background.

Ранее в [1] сравнивались распределения напряженностей магнитных полей поперек тени солнечных пятен, наблюдаемые по линиям поглощения Fe I λ 6302,5 Å, V I λ 6285,2 Å и λ 6296,5 Å. Первая из них, как известно, простой триплет Зеемана с большим расщеплением, а последние две линии в магнитном поле показывают сложную картину расщепления. Так как измерения магнитных полей по простым зеемановским триплетам более точны и надежны, мы 30, 31.10 и 01.11 1972 г. на МБСТ Крымской астрофизической обсерватории АН СССР провели специальные наблюдения спектров большого пятна гр. № 361 (нумерация по бюллетеню «Солнечные данные») в двух других выбранных областях спектра: 1) λ 6125—6175 Å и 2) λ 6410—6460 Å. В первом диапазоне длин волн для определения напряженности магнитного поля в тени пятен удобны линии поглощения Zr I λ 6127,475 Å, λ 6143,183 Å

и Fe I $\lambda 6173,341 \text{ \AA}$, а во втором — линии Y I $\lambda 6435,049 \text{ \AA}$ и Fe I $\lambda 6419,956 \text{ \AA}$. Материал наблюдения и данные о спектральных линиях подробно описаны в [2].

Здесь лишь коротко отметим, что все пять линий поглощения, во-первых, являются простыми триплетами Зеемана с достаточно хорошими расщеплениями; во-вторых, они в спектре пятен имеют примерно одинаковую роуландовскую интенсивность, но обладают различной чувствительностью к температуре. Спектральные линии нейтрального циркония и иттрия «чисто теневые», т. е. они чрезвычайно слабы в спектре фотосферы, но значительно усиливаются в спектрах тени пятна и звезд типа K, а у звезд типа M и S становятся очень хорошо выраженными, сильными [3]. Как видно из таблицы,

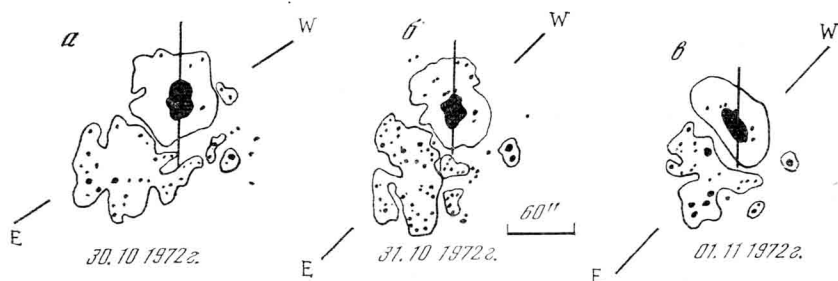


Рис. 1. Зарисовки гр. № 361 (нумерация по «Солнечным данным»)

приведенной в [1], потенциалы возбуждения нижнего уровня линий поглощения нейтрального железа существенно больше, чем линий циркония и иттрия. Кроме того, линии Fe I относятся к фраунгоферовым линиям температурных классов III и V со средним и высоким энергетическими уровнями, тогда как линии Zr I и Y I являются типичными представителями линий температурного класса I с низким энергетическим уровнем [4].

Учитывая изложенное выше, как и в [1], можно предполагать, что основной вклад в излучение в линиях нейтрального железа в спектре тени пятен вносит сплошной темный фон, а линии циркония и иттрия образуются в более темных узлах тени. Таким образом, проводя наблюдение магнитных полей тени пятен одновременно в нескольких линиях поглощения с различной чувствительностью к температуре, мы получаем возможность сравнивать распределения напряженностей магнитных полей в сплошном темном фоне тени и в более темных узлах ее.

На рис. 1 приведены зарисовки гр. № 361 в дни наблюдений, где вертикальной жирной прямой указано направление щели. Как видно, форма тени большого пятна существенно изменялась изо дня в день, особенно сильно менялась ширина тени, попадающая на щель спектрографа.

Во время наблюдений перед щелью ставился круговой анализатор с многополосной поляризационной мозаикой. Ширина каждой полоски мозаики соответствует $3''$ на поверхности Солнца: Так как для определения H мы измеряем расстояние $\Delta\lambda_H$ между коротко- и длинноволновыми σ -компонентами линий поглощения, которые в случае продольного поля видны поочередно в соседних полосках спектра, то пространственное разрешение не лучше чем $3''$ (отметим, что во время наблюдений дрожания изображений также составляли примерно $3-4''$).

Напряженности магнитных полей вычислялись по известной формуле

$$H = \frac{\Delta\lambda_H}{9,34 \cdot 10^{-5} g \lambda_0^2},$$

где g — фактор Ланде зеемановского расщепления, λ_0 — длина волны линии поглощения, $\Delta\lambda_H$ — расстояния между σ_r и σ_v -компонентами. Они измерялись на микроскопе МИР-12. Для каждого места определения H измерения $\Delta\lambda_H$ повторялись пять раз и находились среднеарифметические величины. Среднеквадратичные ошибки наведения нити измерительного микроскопа на

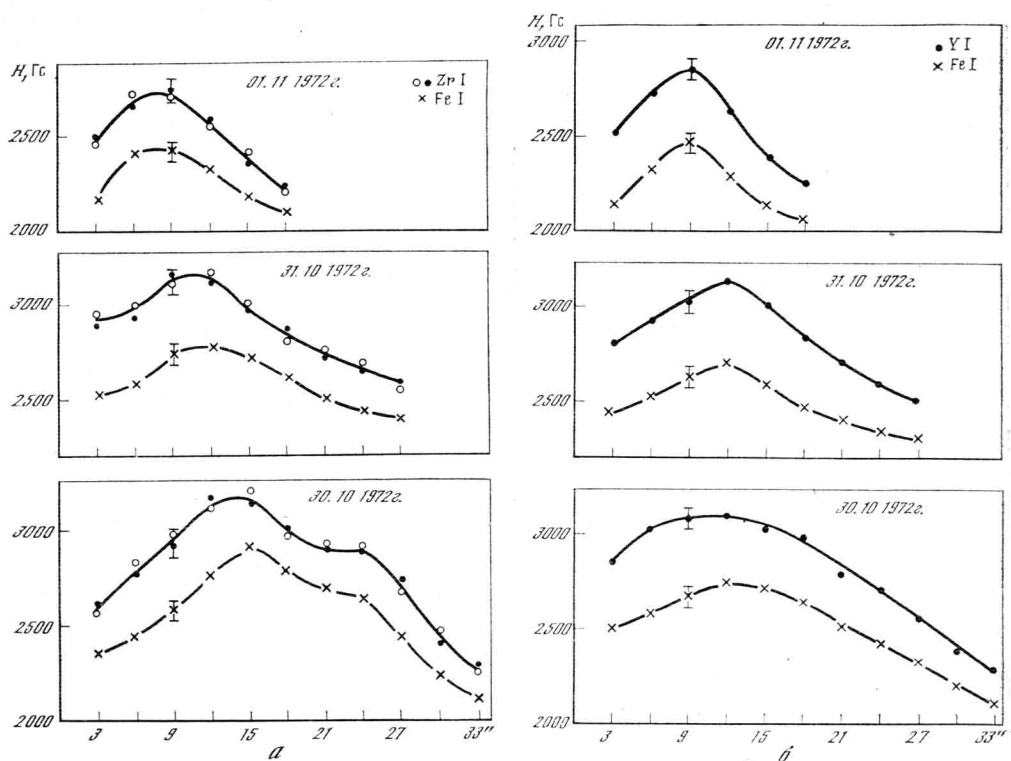


Рис. 2. Распределение напряженностей магнитных полей H поперек тени пятен
 а — по линиям Zr I и Fe I, б — по линиям Y I и Fe I

σ -компоненты для каждой точки определения H составляют: для линии Fe I $\lambda 6173,3 \text{ \AA} \pm (25-30) \text{ Гс}$, для всех остальных линий $\pm (40-50) \text{ Гс}$.

На рис. 2 приведены кривые распределения напряженностей магнитных полей поперек тени большого пятна, наблюдаемого 30, 31.10 и 01.11 1972 г. По оси абсцисс отложено расстояние r от одного и того же края тени пятна, по оси ординат — величина напряженности магнитного поля H .

Как хорошо видно из рис. 2, а, линии поглощения циркония показывают примерно одинаковое распределение напряженности магнитного поля H поперек тени пятна (мы для двух линий Zr I проводим одну сплошную кривую). Штриховой кривой проведено распределение H по линии Fe I $\lambda 6173,3 \text{ \AA}$. Видно, что напряженность поля H в линиях Zr I на протяжении всей тени пятна на 200—300 Гс больше, чем по линии Fe I. Заметна также тенденция роста этой разницы в направлении, где напряженность поля H максимальна (в направлении к центру тени).

На рис. 2, б приведены распределения H поперек тени тех же пятен по линиям поглощения Y I $\lambda 6435,0 \text{ \AA}$ и Fe I $\lambda 6420,0 \text{ \AA}$. Здесь также напряженность поля H по линии железа оказывается меньше, чем по «чисто теневой» линии иттрия, но разница полей составляет 300—400 Гс.

Необходимо отметить, что при сравнении напряженностей магнитных полей H по различным линиям поглощения могут иметь место три основных источника систематических ошибок: 1) различие в блендировании σ - и центрального компонента расщепления; 2) различие в глубинах образования линий поглощения; 3) неточности в факторах Ланде используемых линий.

Рассмотрим первый из них. В нашем случае все линии поглощения имеют достаточно большое магнитное расщепление: во-первых, для них факторы Ланде большие, во-вторых, наблюдалось крупное пятно с сильным магнитным полем. Поэтому на поляризационных спектрограммах тени этого пятна у всех изучаемых линий поглощения зеемановские компоненты расщепления полностью разделены. Только для линии Fe I $\lambda 6420,0 \text{ \AA}$ может иметь место

слабое блендирование между σ - и центральной компонентами. Отметим, что слабые центральные компоненты линий Fe I $\lambda 6173,3 \text{ \AA}$ и $\lambda 6420,0 \text{ \AA}$ в наших наблюдениях, по-видимому, связаны в основном с рассеянным светом. Дело в том, что в дни наблюдений гр. № 361 была недалеко от центральной меридиана (относительное расстояние от центра диска Солнца $\rho = 0,3 \div 0,6$) и магнитное поле в тени преимущественно продольное. Это подтверждается отсутствием центральной компоненты в «чисто теневых» линиях Zr I и Y I.

Трудной задачей является определение глубин образования линий поглощения в пятне. Мы здесь, основываясь только на примерной одинаковости роуландовской интенсивности наблюдаемых линий поглощения, предполагаем, что они возникают на очень близких глубинах в атмосфере тени пятна, хотя не исключено их существенное различие. Следовательно, некоторая часть разницы в напряженностях магнитных полей H в тени пятен по линиям поглощения разных элементов, возможно, связана с различием глубин их образования.

Наконец, о возможном влиянии неточностей в значениях факторов Ланде. Согласно [5] лабораторные величины множителей Ланде для линий циркония $\lambda 6127,5 \text{ \AA}$ на 1,2%, $\lambda 6143,2 \text{ \AA}$ на 1,4%, а для Fe I $\lambda 6420,0 \text{ \AA}$ на 3,1% меньше, чем их теоретические значения при $L-S$ -связи. Если принять лабораторные величины факторов Ланде для исследуемых линий поглощения, различие H между полями, измеренными по линиям Zr I и Fe I, несколько увеличится, но разность H между магнитными полями по линиям Y I и Fe I, наоборот, уменьшится. Тогда средняя разность напряженностей магнитных полей H между полями в наиболее темных узлах тени и в окружающем сплошном темном фоне ее составит примерно 300 Гс.

Таким образом, можно заключить, что: 1) напряженности магнитных полей H , измеренные по двум линиям нейтрального циркония, и их распределения поперек тени пятен одинаковы; 2) места максимумов магнитного поля в ядре пятен по спектральным линиям разных элементов совпадают; 3) в более темных узлах тени напряженность магнитного поля H в среднем на 300 Гс больше, чем в окружающем сплошном фоне ядра пятен.

Автор благодарен А. Б. Северному за важные критические замечания, Н. А. Фроловой и В. В. Гапееву за подготовку иллюстраций.

Ноябрь 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Гусейнов М. Дж., Русских В. И. Сравнение распределений напряженности магнитного поля поперек тени пятен по линиям поглощения с различной чувствительностью к температуре.— Изв. Крым. астрофиз. obs., 1983, т. 68, с. 31—36.
2. Гусейнов М. Дж. Изучение магнитных полей в тени солнечных пятен по фраунгоферовым линиям с различной чувствительностью к температуре.— Изв. Крым. астрофиз. obs., 1974, т. 50, с. 168—174.
3. Меррил П. Линии химических элементов в астрономических спектрах. М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
4. St. John C. E., Moore C. E., Ware L. M. et al. Revision of Rowlands' preliminary table. Carnegie Inst. Wash. Publ., 1928, N 36.
5. Гусейнов М. Дж. Факторы магнитного расщепления для избранных спектральных линий Солнца в диапазоне длин волн $\lambda 4000-6750 \text{ \AA}$, вычисленные по лабораторным значениям множителей Ланде комбинирующихся термов.— Изв. Крым. астрофиз. obs., 1985, т. 70.