

К ВОПРОСУ О КРОССОВЕР-ЭФФЕКТЕ В СПЕКТРАХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН. КРОССОВЕР-ЭФФЕКТ ИЛИ ПОПЕРЕЧНОЕ ПОЛЕ? 1. СПОСОБЫ ОПОЗНАНИЯ

М.Дж. Гусейнов

Предложена методика однозначного определения наличия кроссовер-эффекта в солнечных пятнах. Описываются четыре практические способа, которые позволяют в каждом конкретном случае с помощью наблюдений, проведенных по специальной программе, выяснить, к какому явлению (кроссовер-эффекту или поперечному магнитному полю) относится наблюдаемая картина расщепления простого триплета Зеемана, схожая с кроссовер-эффектом по Г. Бэбкоку.

Отмечается, что некоторые из этих способов, вероятно, могут быть применены и для изучения кроссовер-эффекта в спектрах магнитных звезд.

TO THE QUESTION OF THE CROSS—OVER EFFECT IN THE SUNSPOTS SPECTRA CROSS—OVER EFFECT OR TRANSVERSE MAGNETIC FIELD?

1. METHODS OF IDENTIFICATION, by *M.J. Huseynov*. An unambiguous methods for the identification of the crossover effect in the sunspots is presented. Four practical procedures are described allowing us to determine to what phenomenon the observed picture of Zeeman effect can be ascribed being similar to the cross—over effect according to Babcock. The procedures are based on the observations developed by a special program searching for a cross—over or a transverse magnetic field. It is noted, that the procedures might be used also for the study of cross—over effects in the spectra of magnetic stars.

В некоторых случаях при наблюдении спектров в группах пятен на Солнце с помощью анализатора круговой поляризации (пластинка $\lambda/4$ + призма Волластона или пластинка $\lambda/4$ + поляроидная, равноценно поляризационная, мозаика $P_{1,2}$ со взаимно ортогональными осями пропускания) получают спектрограммы, где картины расщепления простых триплетов Зеемана очень похожи на кроссовер-эффект в спектрах магнитных звезд. Такие случаи, как будет видно из дальнейшего обсуждения, без тщательного исследования могут быть приписаны как кроссовер-эффекту, так и просто расщеплению магнитоактивных линий спектра в поперечном магнитном поле в активных областях (пятнах) на Солнце. Установление, происходит ли кроссовер-эффект в группах пятен на Солнце, имеет важное значение в понимании магнитодинамических явлений в таких областях.

Кроссовер-эффект впервые был обнаружен Г. Бэбкоком [1] при исследовании магнитных полей звезд. Он заметил, что часто в спектрах магнитных звезд, полученных с помощью анализатора круговой поляризации (пластинка $\lambda/4$ + призма Волластона) полуширины магнитоактивных линий в одной поляризации несколько больше, чем в другой (ортогональной). Именно это наблюдаемое явление Г. Бэбкоком было названо кроссовер-эффектом. Он предполагал, что в разных долготах (полушариях) на поверхности наблюдаемой вращающейся звезды име-

ются несколько (минимум по одной области на каждом полушарии) областей с продольными ($H_{||}$) магнитными полями с противоположной полярностью (H_N и H_S). В общем случае, из-за вращения звезды эти области будут иметь различные средние доплеровские (лучевые) скорости ($V_N - V_S = \Delta V \neq 0$). Предположим, что области с H_N и H_S полями занимают значительную площадь на поверхности звезды и разница их средних доплеровских скоростей ΔV соответствует сдвигу линии в их спектре $\Delta\lambda_c \approx 2\Delta\lambda_H$, где $\Delta\lambda_H = 4,67 \cdot 10^{-5} g\lambda^2 H$ является магнитным расщеплением линии. Тогда σ -компоненты линии H_N и H_S полей в спектре одной поляризации по длине волны почти совпадут, а в ортогональной они разойдутся на расстояние $\Delta\lambda = \Delta\lambda_c + 2\Delta\lambda_H$. Это и приведет к разной полуширине магнитоактивной линии в спектре магнитной звезды в ортогональных поляризациях при наблюдении анализатором круговой поляризации.

Однако не исключено наблюдение такой же картины расщепления магнитоактивных линий в случаях, когда вектор магнитного поля звезды направлен под углом, близким к 90° к лучу зрения. О такой возможности впервые было сказано Н.М. Шаховским [2]. Известно, что при поперечном магнитном поле все зеемановские компоненты магнитоактивной линии имеют плоскую поляризацию, причем, поляризация π -компонента параллельна направлению силовых линий магнитного поля, а σ -компонентов направлена поперек поля. Пройдя через пластинку $\lambda/4$, они становятся в общем случае эллиптически поляризованными. Степень эллиптичности их зависит от ориентации плоскости поляризации π - и σ -компонентов относительно кристаллических осей четвертьволновой пластинки: в определенных случаях поляризация компонентов может превратиться в круговую, а в других останется, по-прежнему, линейной. В случаях, когда магнитное поле звезды не является полностью поперечным, степень эллиптичности π - и σ -компонентов магнитоактивных линий будет различной. Тогда после прохождения через двупреломляющий кристалл в спектре одной поляризации π -компоненты могут быть усилены по сравнению с σ -компонентами, а в спектре ортогональной поляризации — наоборот, что и приведет к кроссовер-эффекту по Бэбкоку.

Несколько позже в [3] было выдвинуто предположение о том, что кроссовер-эффект в спектре магнитных звезд может являться результатом воздействия инструментальной поляризации, связанной с отражением света от зеркал телескопа.

Следует отметить и возможное влияние эффекта Фарадея (вращение плоскости поляризации излучения при прохождении ее через среду, находящуюся в магнитном поле) на состояние поляризации компонентов расщепления магниточувствительных линий в спектрах солнечных пятен и магнитных звезд. На вероятность существования магнитного вращения плоскости поляризации в солнечных магнитных полях указывал Северный [4]. Затем Рачковский [5] показал, что в однородном магнитном поле угол поворота плоскости поляризации может дойти до 30° . Однако неоднородное поле (например, если имеет место изменение направления поля с глубиной) может вызвать сильный эффект вращения плоскости поляризации вдоль контура линии, доходящий до 90° , что фактически и наблюдалось в ряде случаев в области сильных магнитных полей на Солнце [6].

Следовательно, для выяснения вопроса о причине кроссовер-эффекта в спектрах магнитных звезд необходимо учитывать вероятное влияние как инструментальной поляризации, так и эффекта Фарадея.

* Похожая на кроссовер-эффект картина расщепления магнитоактивных линий при наблюдении вблизи края диска Солнца магнитных полей солнечных пятен анализатором круговой поляризации была известна наблюдателям Крымской астрофизической обсерватории [7]. Однако эти картинки расщепления линий они связывали с поперечным магнитным полем, но никак не с кроссовер-эффектом.

Для того чтобы получить спектры пятен, находящихся далеко от центра диска Солнца, с более четкими компонентами расщепления линий, наблюдения проводились только с помощью поляроидной мозаики (с анализатора круговой поляризации снималась пластинка $\lambda/4$).

О наблюдении в редких случаях картины кроссовер-эффекта в спектрах пятен было отмечено в [8].

В 1970 г. Григорьев и Кац [9] впервые ввели в практику солнечных явлений понятие "кроссовер-эффект" в пятнах. Ими в 1969 г. были проведены наблюдения спектров двух пятен с помощью анализатора круговой поляризации. Из 30 спектрограмм, полученных 13 и 16 июня 1969 г., в 2 спектрограммах, относящихся к небольшим областям полутени пятен, они заметили, что в спектре одной круговой поляризации присутствует только π -компонента, в другой (ортогональной) видны только обе σ -компоненты линии $\text{FeI} \lambda 5250,2 \text{ \AA}$ с большим магнитным расщеплением. По аналогии кроссовер-эффекту в спектрах магнитных звезд, авторы [9] это явление назвали "кроссовер-эффектом в спектре солнечных пятен". Результаты [9] в дальнейшем мы обсудим более подробно.

Затем появилась статья Головкин [10], где также картинка зеemanовского расщепления линии $\lambda 5250,2 \text{ \AA} \text{ FeI}$, схожие с картинками, полученными в [9], связываются с кроссовер-эффектом в пятнах. Предполагается, что имеются тонкоструктурные образования в пятнах с противоположными продольными (N и S полярности) магнитными полями $|H_M| \approx |H_S|$, к тому же эти образования имеют относительные доплеровские скорости величиной $\Delta \lambda_c \approx 2 \Delta \lambda_H$.

Кроссовер-эффект в спектре солнечных пятен был рассмотрен в [11], где авторы на основании изучения 377 поляризационных спектрограмм пятен, полученных на БСТ КАО в 1957—1958 гг. заключили, что в подавляющем большинстве случаев эффект появляется в пятнах вблизи лимба. Если учитывать тот факт, что такие спектры в КАО снимались без пластинки $\lambda/4$ когда пятна находились далеко от центра диска Солнца [7], то ясно, что этот результат скорее относится к поперечным магнитным полям в пятнах.

О кроссовер-эффекте упоминается в [12], где говорится и о возможном некотором влиянии приборной поляризации. Баранов [13, 14] показывает, что кроссовер-эффект в спектрах пятен вполне может быть объяснен сдвигом фаз поляризации π - и σ -компонентов линий при отражении света от металлических поверхностей зеркал телескопа.

В [15] также подробно изучается кроссовер-эффект в пятнах, где дается две интерпретации этому явлению. Первое объяснение аналогично тем, где существуют тонкоструктурные образования с противоположными (N и S) продольными магнитными полями и различием в доплеровских скоростях, соответствующим сдвигу линий $\Delta \lambda_c \approx 2 \Delta \lambda_H$. Альтернативным объяснением авторов является предположение о существовании высокочастотных поперечных колебаний в полутени. Но, как сказано в [16], такие колебания пока никем не обнаружены.

Исследована инструментальная поляризация горизонтального солнечного телескопа обсерватории Ондражеев [17], где автор показывает, что кроссовер-эффект в спектрах пятен может быть объяснен влиянием инструментальной поляризации.

Таким образом, в интерпретации иногда наблюдаемой с помощью анализатора круговой поляризации картины расщепления магнитоактивных линий в спектре пятен, напоминающей кроссовер-эффект в спектрах магнитных звезд, единого мнения нет. Но явно видно разделение исследователей на два лагеря: одни предполагают существование истинного кроссовер-эффекта, другие предпочитают соответствующую картину связывать с поперечным магнитным полем. Тем не менее надежное установление наличия истинного кроссовер-эффекта имеет первостепенное значение для понимания физических процессов, происходящих в активных областях на Солнце.

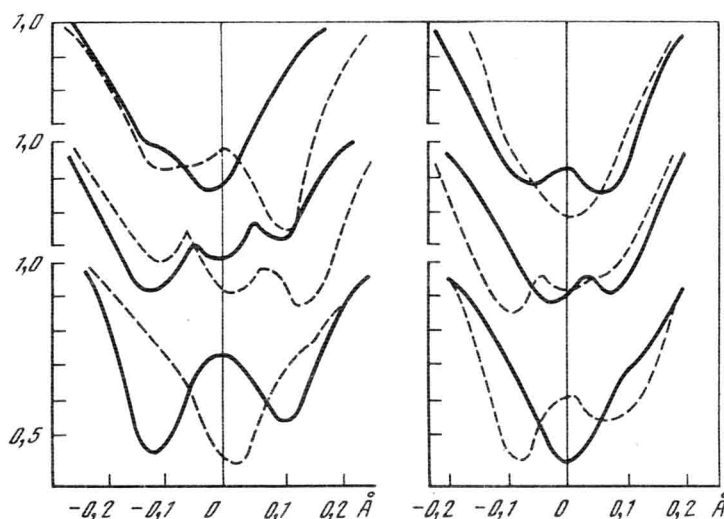


Рис. 1. Профили линии FeI $\lambda 5250,2\text{\AA}$ в спектрах пятен с лево- и правоциркулярной поляризацией

Теперь еще раз обратимся к [9] и проанализируем основные наблюдательные данные, приведенные там. Сначала рассмотрим контуры линии FeI $\lambda 5250,2\text{\AA}$ (рис. 3 в [9]), относящиеся к тем местам пятен, где по мнению авторов, осуществляется кроссовер-эффект. Для удобства эти контуры мы воспроизводим на рис. 1, где посередине контуры линий в ядре пятен, а верхние и нижние соответствуют малым областям в северной и южной частях полутени; пунктирные и сплошные линии соответствуют контурам в лево- и правоциркулярной поляризации. Напомним, что если бы контуры, относящиеся к полутени, были связаны с истинным кроссовер-эффектом, то интенсивность центральной составляющей расщепления в спектре одной поляризации должна быть равна сумме интенсивностей крайних компонентов другой поляризации. Как хорошо видно из рис. 1, такое обязательное условие не выполняется. Этот является первым аргументом, говорящим о том, что в данных местах кроссовер-эффекта нет. По-видимому, эта картина все-таки связана с присутствием значительной составляющей поперечного магнитного поля.

Далее, авторы [9] ввели параметр $\beta = (\Delta\lambda_l - \Delta\lambda_r) / (\Delta\lambda_l + \Delta\lambda_r)$, где $\Delta\lambda_l$ и $\Delta\lambda_r$ — ширина линии на уровне 0,7 от центральной глубины в спектре лево- и правоциркулярной поляризации соответственно, что характеризует различия ширины линий в разных поляризациях. Величина параметра β авторами была определена для семи спектральных линий с различными и картинками расщепления Зеемана и разными факторами Ланде; данные приведены в таблице [9]. Затем была построена

Линия	$-\beta$	$-q_\sigma$	$-q_\pi$	Δq	Эффект Зеемана
FeI 5225,5Å	0,04	2,25	1,50	0,75	Сложный эффект
FeII 5234,6Å	0,11	1,09	0,09	1,00	Сложный эффект
ScII 5236,8Å	0,13	1,00	0,00	1,00	норм. триплет
FeI 5247,1Å	0,23	2,12	0,20	1,92	сложный эффект
CuI 5247,6Å	0,28	2,51	0,00	2,51	простой триплет
FeI 5250,2Å	0,44	3,00	0,00	3,00	простой триплет
FeI 5250,7Å	0,15	1,48	0,14	1,34	сложный эффект

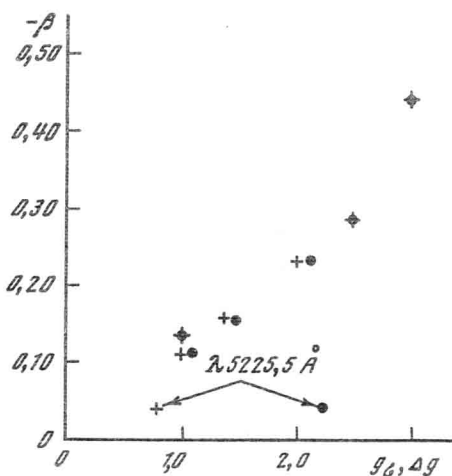


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость относительной ширины разных линий в различных поляризациях от фактора магнитного расщепления

Рис. 3. Картина зеемановского расщепления линии FeI $\lambda 5225,5 \text{ \AA}$ в поперечном магнитном поле

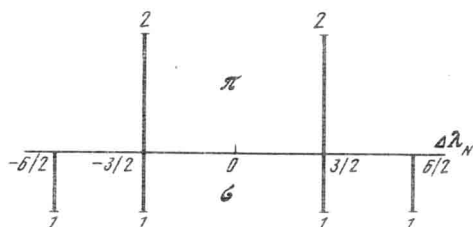


Рис. 3

зависимость параметра β от факторов Ланде линий (рис. 4 в [9]). Для наглядности мы этот график воспроизводим на рис. 2, где точки соответствуют данным [9]. Сразу видно, что точка, которая относится к линии FeI $\lambda 5225,5 \text{ \AA}$, сильно отличается от распределения значений по фактору Ланде, что отмечается авторами [9]. Они полагают, что это, возможно, связано с картиной расщепления линии. Скорее всего так и есть, но только при одном важном условии: если имеет место поперечное поле. Но в [9] об этом не говорится. Посмотрим зеемановскую картину расщепления линии FeI $\lambda 5225,5 \text{ \AA}$ (рис. 3) в случае поперечного поля. Хорошо видно, что и π -компоненты этой линии имеют значительное расщепление (фактор Ланде для π -компонентов этой линии равен $q_\pi = 1,5$). Ясно, что если бы имел место чистый кроссовер-эффект, тогда вследствие $H \perp = 0$ отсутствовали бы π -компоненты и параметр для данной линии должен был соответствовать общей закономерности соотношения между β и q . Только присутствие π -компонентов, следовательно, наличие поперечного поля могло так снизить значение параметра β для линии FeI $\lambda 5225,5 \text{ \AA}$. После учета влияния расщепления π -компонента линии соответствующая точка сдвинулась на графике далеко влево и пришла в согласие с основной закономерностью. Отметим, что для всех линий со сложным эффектом Зеемана мы рассчитали факторы магнитного расщепления π -компонентов и определили $\Delta q = q_\sigma - q_\pi$. Эти данные приведены в таблице, где β и q_σ взяты из [9], а q_π и Δq рассчитаны нами.

Предполагая, что имело место поперечное поле, мы построили зависимость между параметрами β и Δq (рис. 2, крестики). Таким образом, и этот факт указывает на то, что приведенные в [9] случаи лучше объясняются наличием поперечного поля в данных местах полутени пятен. Следовательно, предположение в [9] о существовании кроссовер-эффекта в пятнах не подтверждается.

В связи со всем вышеизложенным для выяснения вопроса, осуществляется ли кроссовер-эффект в активных областях Солнца, нами была разработана специальная программа наблюдений и способы их анализа. Первые наблюдения по этой программе были проведены в 1972 г. Результаты исследования материала наблюдений мы дадим во II части статьи. Здесь мы опишем способы различения кроссовер-эффекта и поперечного поля в случаях, когда при наблюдении с анализатором круговой поляризации в спектрах пятен обнаруживается расщепление линий, похожее на кроссовер-эффект.

С п о с о б 1. Спектры соответствующих мест в активной области нужно снимать как с полным анализатором круговой поляризации ($\lambda/4$ + поляроидная мо-

заика), так и без пластины $\lambda/4$, т.е. только через поляроидную мозаику, желательно, в спектральных областях около простых триплетов Зеемана $\text{FeI}\lambda 6302,5\text{\AA}$, $\lambda 6173,3\text{\AA}$ или $\lambda 5250,2\text{\AA}$ с наибольшими магнитными расщеплениями. Сравнение интенсивностей π - и σ -компонентов в разных спектрах даст возможность говорить о природе явления. Однако желательно и снимать спектры с помощью $\lambda/2$ +поляроидная мозаика, тем более, что вращая пластинку в $\lambda/2$, можно добиться наиболее четкой видимости π -и σ -компонентов в спектрах ортогональной поляризации.

С п о с о б 2. Снимать спектры подозреваемых мест активной области и невозмущенной фотосферы в спектральных участках, содержащих немагнитные линии (фактор Ланде $q = 0$). Сравнение полуширин линий с $q = 0$ в спектрах разных мест должно свидетельствовать о наличии или отсутствии кроссовер-эффекта. В случаях наличия кроссовер-эффекта ($\Delta\lambda_c = 2 \Delta\lambda_H$) немагнитные линии в спектре таких мест должны расширяться (или даже удваиваться) в зависимости от длины волны линий и величины разности доплеровских скоростей ΔV областей с H_N и H_S полями. Это отмечается и в [16]. В случае же поперечного поля полуширины таких линий в спектрах подозреваемых мест и невозмущенной фотосферы должны быть примерно одинаковы (конечно, если допустить, что полуширины выбранных линий существенно не меняются из-за возможного изменения других физических условий).

С п о с о б 3. Нужно снимать поляризационные спектрограммы подозреваемых мест активной области как с анализатором круговой поляризации, так и только с поляризационной мозаикой $P_{1,2}$ (без пластины $\lambda/4$) в части спектра, содержащей линии $\text{FeI}\lambda 5250,2\text{\AA}$, где имеются еще несколько простых триплетов Зеемана с различными факторами Ланде. Измерив в лучших спектрограммах полное расстояние $\Delta\lambda$ между крайними компонентами расщепления для выбранных линий и определив напряженности магнитного поля H в разных предположениях (кроссовер-эффект или поперечное поле) можно построить график зависимости $\Delta\lambda$ и H от фактора $q\lambda^2$ (рис. 4). Мы будем исходить из того, что если осуществляется кроссовер-эффект, то условие $\Delta\lambda_c = 2 \Delta\lambda_H$ выполняется для линии $\text{FeI}\lambda 5250,2\text{\AA}$, у которой $q\lambda^2 = 83 \cdot 10^{-10} \text{ (см}^2\text{)}$.

В случаях, когда нет кроссовер-эффекта ($\Delta\lambda_c = 0$), а имеется поперечное магнитное поле, например, с $H_{\perp} = 2000 \text{ Гс}$, мы получим прямую 1 зависимости H от $q\lambda^2$, где $H_{\perp} = \text{const} = 2000 \text{ Гс}$ (отличия $H_{\perp}$ в разных линиях могут быть связаны с различием их глубин образования) и прямую 2 зависимости $\Delta\lambda$ до $q\lambda^2$, проходящую через 0 шкалы $\Delta\lambda/\Delta\lambda_H$ (рис. 4).

При наличии кроссовер-эффекта мы получим прямую 3 зависимости $\Delta\lambda$ от $q\lambda^2$. Как видно из рис. 4, в отличие от случая поперечного поля, при кроссовер-эффекте зависимость $\Delta\lambda$ от $q\lambda^2$ проходит не через 0, а через $\Delta\lambda_c = 2\Delta\lambda_H$. Теперь, если попытаться построить зависимость между H и $q\lambda^2$, полагая, что $\Delta\lambda$ полностью определяется магнитным расщеплением ($\Delta\lambda_c = 0$), получим кривую 4, согласно которой, во-первых, напряженность поля H в разных линиях сильно различается, во-вторых, для линий с малыми $q\lambda^2$ величинами H невероятно большие. Это опровергает предположение о том, что $\Delta\lambda_c = 0$ в данном конкретном случае. Следовательно, и кривая 4 (рис. 4) говорит о наличии кроссовер-эффекта.

С п о с о б 4. Недалеко от известной магниточувствительной линии $\text{FeI}\lambda 6173,3\text{\AA}$ имеется линия $\text{FeI}\lambda 6149,2\text{\AA}$ со специфическим расщеплением в поперечном магнитном поле (рис. 5): как видно, она расщепляется на два π -компонента в одной поляризации и на два σ -компонента в ортогональной поляризации, причем расстояния между π - и σ -компонентами одинаковы и определяются $2\Delta\lambda_H = 9,34 \cdot 10^{-5} \cdot q\lambda^2 H$. В случае чисто поперечного магнитного поля интенсивности всех π - и σ -компонентов равны. Теперь ясно, что если мы снимем поляризацион-

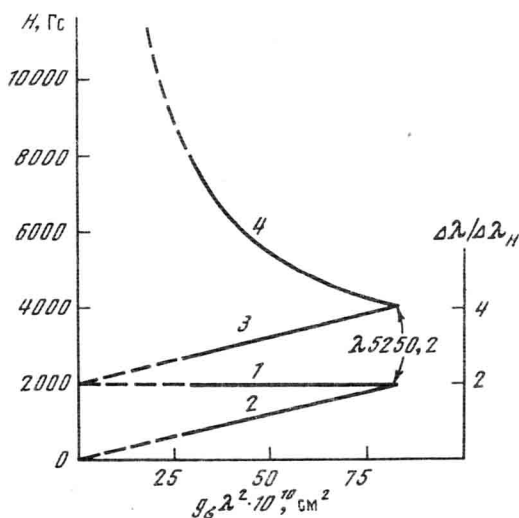
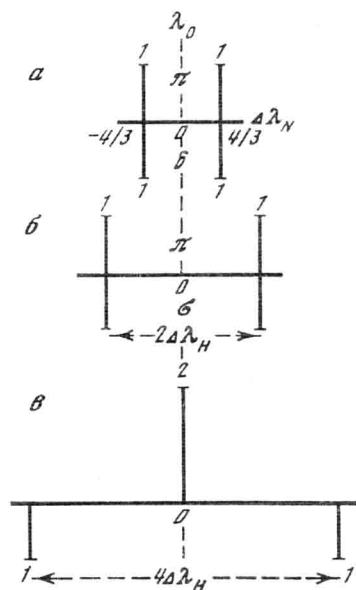


Рис. 4. Зависимость полного расщепления линий $\Delta\lambda$ и напряженности H магнитных полей в разных линиях от фактора магнитного расщепления $(g\lambda^2)$ линий

Рис. 5. Картины магнитного расщепления линии FeII $\lambda 6149,2\text{\AA}$ в поперечном магнитном поле и вид линии в ортогональных поляризациях при наличии кроссовер-эффекта



ные спектрограммы подозреваемых мест активной области в соответствующем спектральном диапазоне, только по виду расщепления линии FeII $\lambda 6149,2\text{\AA}$ в спектрах с ортогональной поляризацией можем судить, имеет ли место кроссовер-эффект или поперечное магнитное поле: а) в случае поперечного поля мы в каждом спектре на одних и тех же расстояниях $2\Delta\lambda_H$ друг от друга увидим два крайние компонента (рис. 5, б), но в одной поляризации это будут π -компоненты, а в другой σ -компоненты (их интенсивности будут примерно одинаковы, если не влияют магнитооптические эффекты); б) в случаях наличия кроссовер-эффекта, мы как и в простых триплетях Зеемана, в одной поляризации должны видеть два крайние компонента, а в ортогональной поляризации только центральный компонент, интенсивность которого будет равна сумме интенсивностей крайних компонентов (рис. 5, в). Кроме того, в этом случае расстояние между крайними компонентами будет определяться $\Delta\lambda = 4\Delta\lambda_H$, так как $\Delta\lambda_c = 2\Delta\lambda_H$ и $\Delta\lambda = \Delta\lambda_c + 2\Delta\lambda_H = 4\Delta\lambda_H$.

К сожалению, линия FeII $\lambda 6149,2\text{\AA}$ в спектре ядра больших пятен очень сильно ослабевает или вовсе исчезает. Поэтому она хороша для исследования кроссовер-эффекта в малых ядрах или полутени пятен. Для изучения этого возможного явления в спектрах больших ядер пятен требуется выбор других линий поглощения. Отметим, что в этих целях достаточно удобна линия FeI $\lambda 5225,5\text{\AA}$, картина расщепления которой приведена на рис. 3. Мы пока нашли еще две более-менее удобные линии: FeI $\lambda 6082,7\text{\AA}$ и $\lambda 6213,4\text{\AA}$. У этих линий зеемановское расщепление в принципе такое же, как линии $\lambda 5225,5\text{\AA}$, хотя факторы Ланде и для π - и для σ -компонентов несколько меньше ($q_\pi = 1,0$; $q_\sigma = 2,0$).

Нужно заметить, что способы 1, 3 и 4, по-видимому, могут быть применены для исследования кроссовер-эффекта в спектрах магнитных звезд.

Учитывая все вышеизложенное, можно заключить:

1. В исследованиях кроссовер-эффекта в спектрах магнитных звезд и активных областей Солнца необходимо учитывать вероятное влияние на поляризацию компонентов расщепления магнитоактивных линий как инструментальной поляризации, так и эффекта Фарадея.

2. Предложенные здесь четыре способа дают возможность в каждом конкретном случае однозначно определить имеет ли место кроссовер-эффект или поперечное магнитное поле в активных областях Солнца.

3. По-видимому, некоторые из этих способов могут быть применены к изучению кроссовер-эффекта в спектрах магнитных звезд.

В заключение выражаю глубокую благодарность всем сотрудникам лаборатории физики Солнца, а также Н.М. Шаховскому за обсуждение результатов, П.П. Добронравину за ценные советы и помощь при оформлении статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Babcock H.W. // *Astrophys.J.* 1951. Vol. 114. P. 1.
2. Шаховской Н.М. Проблемы магнитной гидродинамики и космической газодинамики. Вопросы космогонии. Т. 10, М.: Наука, 1964, С. 18—19.
3. Jager F.M., Oelken L. // *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam.* 1968. Vol. 31. p. 5.
4. Северный А.Б. // *Астрон. журн.* 1959. Т. 36. С. 208.
5. Рачковский Д.Н. // *Изв. Крым. Астрофиз. обс.* 1962. Т. 27. С. 148—161. Т. 28. С. 259—270.
6. Северный А.Б. // *Изв. Крым. астрофиз. обс.* 1964, Т. 31, С. 126—158.
7. Северный А.Б., Степанов В.Е. // Там же. 1956, Т. 16, С. 3—11.
8. Kjeldseth Moe O. // *Structure and Development of Solar Active Regions IAU Symp.* 35. 1967. P. 202.
9. Григорьев В.М., Кац И.М. // *Исслед. по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца.* 1970. Вып. 15. С. 37—46.
10. Головки А.А. // Там же. 1974, в. 31, С. 24—32.
11. Голубев В.А., Чистяков В.Ф. // *Астрон. циркуляр.* 1972, № 670, С. 1—3.
12. Лазарева Л.Ф., Могилевский Э.И. // *Солн. данные.* 1972, № 2, С. 97—103.
13. Баранов А.В. // Там же 1975. № 5, С. 77.
14. Баранов А.В. // *Динамические процессы на Солнце.* Владивосток. 1978, С. 97—107.
15. Демкина Л.Б., Обридко В.Н. // *Физика солнечных пятен.* Труды VIII консультативного совещания Академий Наук соц. стран по физике Солнца. М.: Наука, 1976. С. 58—62.
16. Обридко В.Н. *Солнечные пятна и комплексы активности.* М.: Наука, 1985.
17. Macak P. // *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 1979. Vol. 30. N. 3. P. 174—179.