

О ВЛИЯНИИ ГРАДИЕНТОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ВЫСОТЫ ОТКЛИКА КРЫЛЬЕВ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Можаровский С.Г.

*Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Уссурийск, Россия
sw@newmail.ru*

ON THE EFFECTS OF THE MAGNETIC FIELD AND RADIAL VELOCITY GRADIENTS ON THE EFFECTIVE HEIGHT OF RESPONSE OF THE SPECTRAL LINE WINGS

Mozharovsky S.G.

*Ussuriysk Astrophysical Observatory of FEB RAS, Ussuriysk, Russia
sw@newmail.ru*

It is found that changes in the magnetic field and/or radial velocity vertical gradients significantly change the height in the photosphere, from which a spectral line delivers information to the researcher.

Negative gradient of the magnetic field when the field is reduced in the upward direction, towards smaller values of the optical depth, leads to stretching wing of magnetoactive lines (and to decrease the derivative $dI/d\lambda$ along the wing). For some positive gradient magnitude $dI/d\lambda$ reaches a maximum value. At that moment, the effective height of the response of the profile sections attached to the different residual intensities became equal. With further increase of the positive gradient the response of the profile sections in the wing is formed at a higher level than the response of sections placed near the line core. Figuratively this can be represented as an "attraction" effective level of response of external profile sections to the photosphere layers, where the magnetic field (or the V_{LOS} value in the case of the radial velocity gradient) reaches maximum values. Heights of the profile response to changes in the radial velocity and in the magnetic field coincide with each other, but differ considerably from the heights of the response to temperature changes.

When integrating along the entire profile the effect decreases but does not disappear. Examples of the effect: signal of the ratio B_{5250}/B_{5247} will significantly vary with changes in the magnetic field gradient; in some cases the line Fe I 6302 Å reflects field located at a higher altitude than the line Fe I 6301 Å.

На основе численных расчетов изучено влияние величины и знака градиента магнитного поля на изменения ширины профилей магнитоактивных линий. Расчеты проводились для разных спектральных линий. Далее в работе в целях лучшей наглядности использована искусственная пара линий, очень похожая на пару Fe I λ 5250, 5247 Å, параметры пары приведены в таблице:

Таблица 1.

линия	длина волны, Å	E_{Low} , eV	$lg(gf)$	g_{Lande}
1	5000	0.0	-6.50	3.0
2	5000	0.0	-6.50	2.0

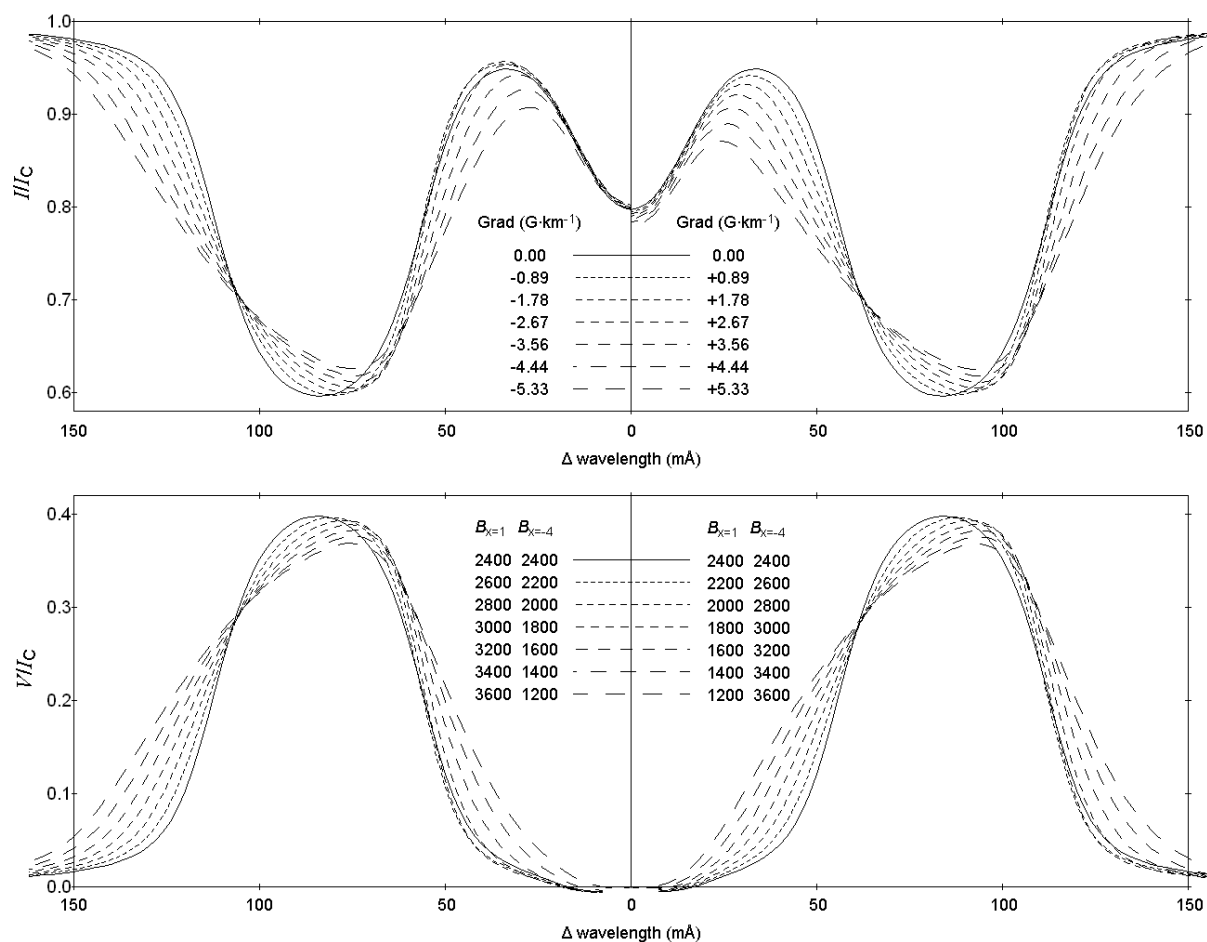


Рис. 1. Профили остаточной интенсивности I/I_c и круговой поляризации V/I_c в зависимости от знака и величины вертикального градиента напряженности магнитного поля. Модель тени Stellmacher & Wiehr 1975 г [1] (далее SW75). В левой части рисунка отрицательный градиент (обычный для тени солнечных пятен), в правой части – положительный градиент. Магнитное поле меняется от 3600 и 1200 Гс на уровнях $\log(\tau_5) = 1$ и -4 , что соответствует -5.3 Гс/км до 1200 и 3600 Гс ($+5.3$ Гс/км), угол $\gamma = 15^\circ$.

На рис. 1 показаны профили для линии с фактором Ланде 3 (см. табл. 1). Согласно рисунку, ширина профиля в области больших остаточных интенсивностей растет, что отражает рост эффективного значения магнитного поля. При отрицательном градиенте это говорит о смещении эффективной высоты отклика крыла вниз, при положительном – вверх. Наглядно это можно представить как смещение (или "притяжение") эффективного уровня отклика внешних участков профиля к тем слоям фотосферы, где магнитное поле принимает максимальные значения. Анализ функций отклика (Response Function - RF) ширины профиля на изменения напряженности магнитного поля подтверждает это представление, см. рис. 2.

Модельные линии из таблицы 1, подобно линиям мультиплета No 2 нейтрального циркония (см. [3]), позволяют измерить напряженность магнитного поля B методом разности ширин, то есть путем вычитания абсолютных ширин профилей с последующим вычислением B из формулы:

$$W_{\text{line1}} - W_{\text{line2}} = 4.67 \cdot 10^{-5} B \cdot (\lambda_1^2 \cdot g_{\text{Lande1}} - \lambda_2^2 \cdot g_{\text{Lande2}}) [\text{cm}] \quad (1)$$

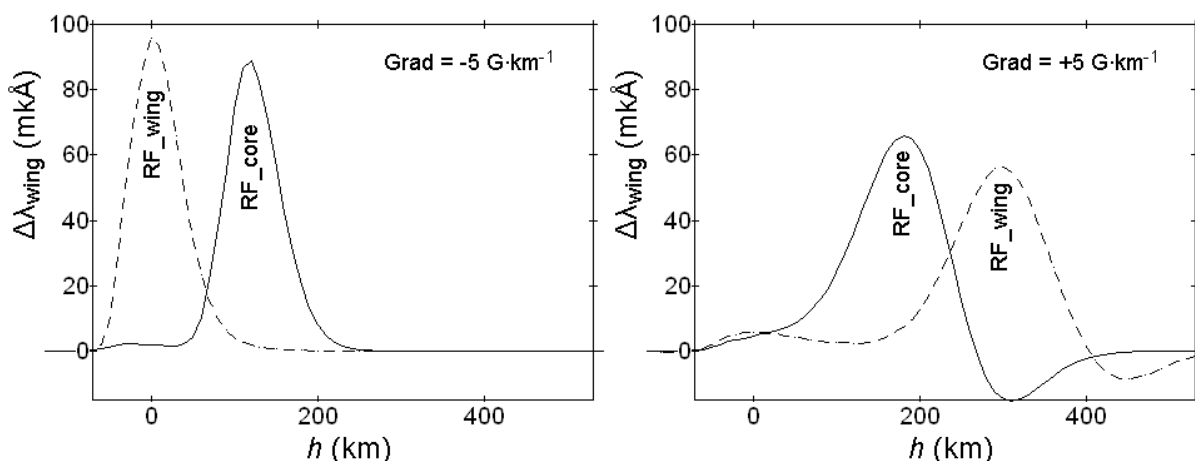


Рис. 2. Функции отклика (RF) для отдельных точек на профиле линии на изменение напряженности магнитного поля при заданных линейных градиентах поля. При положительном градиенте эффективная высота отклика крыла (wing, $R_I = 0.9$) оказывается выше эффективной высоты точек, расположенных ближе к центру (core, $R_I = 0.7$) линии. Модель тени SW75. RF смещения точек профиля вдоль оси длин волн в мкА построены методом пробного слоя [2], ширина слоя 10 км, величина возмущения магнитного поля 10 Гс.

Проследим, как будут меняться напряженности (см. рис. 3), измеренные методом разности ширин $W_1 - W_2$ по профилям линий из табл. 1, рассчитанных для модели тени SW75. Измерения сделаны для уровней с заданной остаточной интенсивностью R_I . Профили получены для дискретного набора величин линейного вертикального градиента dB/dh от 5.3 до -5.3 Гс/км. На высоте $h = 135$ км, соответствующей $\log(\tau_5) = -1.5$ (в модели SW75 h и $\log(\tau_5)$ связаны линейно) поле модели всегда остается равным 2400 Гс.

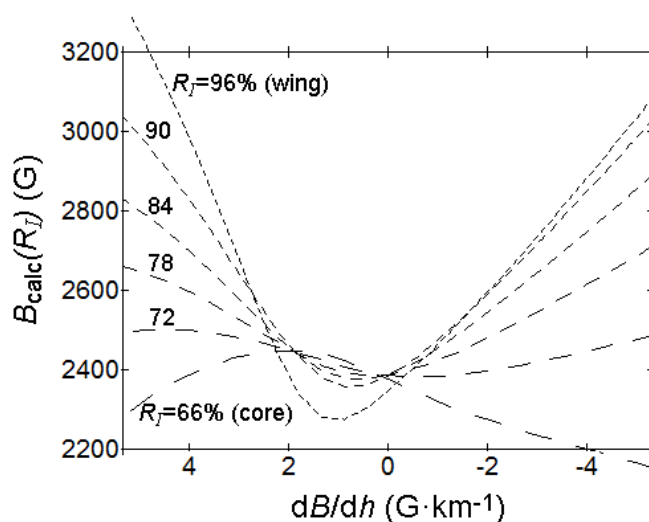


Рис. 3. Зависимость напряженности магнитного поля, измеренной методом разности ширин на разных уровнях остаточной интенсивности от величины и знака dB/dh .

Зная величину B и зависимость $B(h)$ для каждого градиента для заданных уровней R_I можно проследить изменения эффективной высоты отклика h_{eff} от величины и знака dB/dh , см. рис. 4.

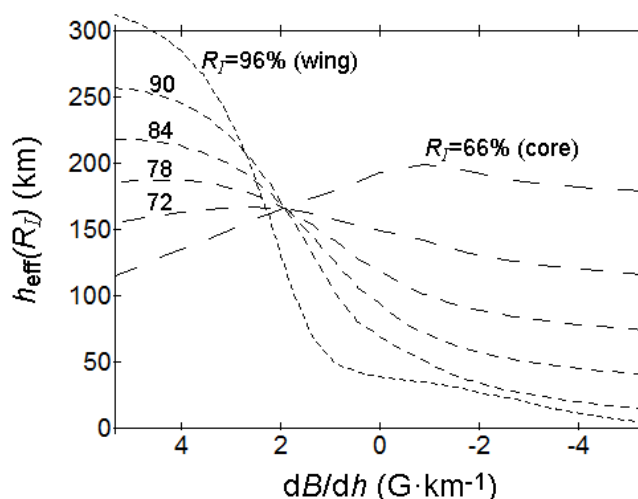


Рис. 4. Изменение эффективных высот для измерения напряженности поля с изменением dB/dh для разных уровней R_I на профиле спектральной линии.

Из рис. 4 следует, что при определенном положительном градиенте напряженности магнитного поля, все точки профиля линии отражают состояние магнитного поля на одной и той же высоте. При дальнейшем росте градиента крыло начинает откликаться на большие высоты, чем ядро линии. Расчеты указывают на аналогичный эффект, который возникает при переходе от градиента магнитного поля к градиенту лучевой скорости.

Если перейти от отдельных точек профилей к интегральным параметрам, например, к сигналу магнитографа, то влияние отдельных точек профиля будет усреднено и, таким образом, ослаблено. Однако, учет найденного эффекта значительно корректирует результаты, полученные на основе сравнения измерений для пар линий. Так как использование пар линий широко вошло в практику в приборах, базирующихся на космических аппаратах, это может иметь большое практическое значение.

Расчеты, выполненные для функций отклика на изменения лучевой скорости и расчеты для случая, где градиент магнитного поля заменен на градиент лучевой скорости, показывают полную эквивалентность RF_B и RF_V_{LOS} по форме и расположению на оси h . Напротив, RF для температуры в корне отличаются от RF_B и RF_V_{LOS} . Таким образом, использование близких по атомным параметрам линий, например, пары 5250/5247, в присутствии градиентов магнитного поля не дает возможности корректно оценивать скважность областей с полем и без. С другой стороны, эта пара может быть полезна для восстановления температурного распределения.

Литература

1. Stellmacher G. and Wiehr E. // 1975, Astronomy and Astrophysics. v. 45, p. 69–76.
2. Можаровский С.Г. // Труды Всероссийской конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2012», СПб, ГАО РАН, 2012, с. 289–292.
3. Можаровский С.Г. // Труды Всероссийской конф. к 100-летию В.Е.Степанова, Иркутск, ИСЗФ СО РАН, 2013, с. 266–270.