

СРАВНЕНИЕ ГЛУБИН ОТКЛИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ФОТОСФЕРЕ МЕТОДОМ ПРОБНОГО СЛОЯ

Можаровский С.Г.

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

THE COMPARISON OF DEPTH OF LINE RESPONSES TO PHYSICAL VALUES VARIATIONS IN THE PHOTOSPHERE BY THE PROBE LAYER METHOD

Mozharovsky S.G.

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

The properly determining of the effective depth of line formation is the crucial task for the interpretation of observation. Numerical simulation of the line formation process makes definition of depth transparent for a researcher and allows anyone to see that there are always relationships between the effective depths of the line response and the impact of different physical parameters. On the other hand, these relationships is very confused and if we know the depth for one case, we can't make analogy for the other cases when there are taken for analysis other lines, or other methods of comparison of line profiles, or other physical parameters.

Функции вклада и отклика (CF/RF) являются основой для определения эффективных глубин. Построение CF/RF методом пробного слоя было рассмотрено в работе [1]. Идея состоит в многократном расчете профиля линии при изменении выбранного физического параметра в узком слое фотосферы, который смещается по всем глубинам. Изменения профиля линии с глубиной определяют график функции отклика RF. Функция вклада CF является частным случаем RF, когда пробным параметром служит коэффициент поглощения в линии η_0 . Приравнивая η_0 к нулю в пробном слое, получаем CF с точностью до обратного знака. Эффективную глубину находим как середину площади под кривой функции вклада или отклика.

Новый метод определения глубин был применен для расчета глубин множества фраунгоферовых линий с целью сравнения результатов с другими подобными определениями. Эта работа дала неожиданный результат. Было обнаружено обратное соотношение между эквивалентными ширинами W линий и средними глубинами их образования для ряда линий мультиплета № 816 Fe I. Из таблицы 1 (см. также рис. 1) видно, что чем больше эквивалентная ширина линии W , тем глубже она образуется, хотя согласно общепринятым представлениям все должно быть наоборот.

Обратная зависимость $h_{\text{eff}} - W$ позволяет предположить далеко идущие последствия вплоть до смены знака градиента всех физических вели-

чин (и, в частности, магнитного поля), измеренных с помощью пары линий Fe I λ 6302 – 6301 Å, применяемой в наблюдениях на HINODE.

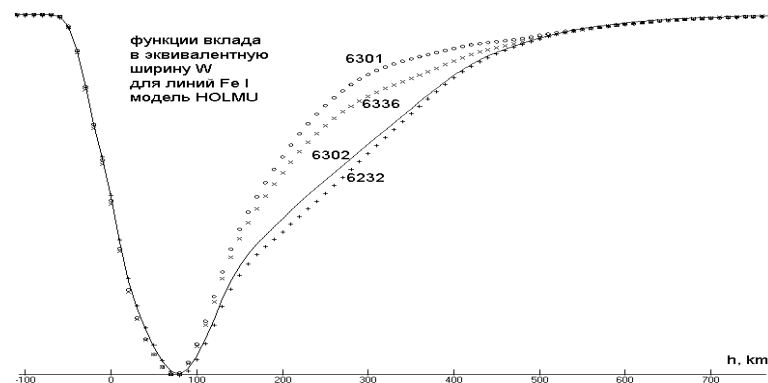


Рис. 1. Функции вклада CF в эквивалентную ширину для четырех линий мультиплета №816 Fe I. CF показаны с обратным знаком и приведены к одному масштабу по оси Y.

Таблица 1.

Эффективные глубины образования линий мультиплета №816 Fe I, рассчитанные по функциям вклада в эквивалентную ширину для моделей фотосферы HOLMU [2] и VAL C [3].

Спектральная линия Fe I		Модель HOLMU		Модель VAL C	
λ (Å)	$\lg(gf)$	W, mÅ	h, км	W, mÅ	h, км
6232	–1.255	84.1	140.4	92.3	189.4
6302	–1.15	88.1	136.4	96.6	184.2
6336	–0.78	110.1	116.5	119.9	150.4
6301	–0.57	127.8	108.2	138.2	132.0

Чтобы выяснить, при каких условиях возникает подобная инверсия, выполнен расчет для искусственного набора линий, полученного из линии Fe I λ 6302 Å варьированием силы осцилляторов $\lg(gf)$ от –3.4 до +0.2 dex.

Результаты расчета (рис. 2) показали, что в диапазоне эквивалентных ширин от 70 до 180 mÅ происходит уменьшение глубины образования линий на 60 км в моделях тени HOLMU [2] и VAL_C [3] (расчет проведен при постоянном с глубиной значении микротурбулентной скорости $V_{mi} = 1$ км/с). Из анализа изменений профилей линий становится понятно, что инверсия зависимости $h_{eff} - W$ попадает на ту область, где прирост эквивалентной ширины происходит за счет расширения крыльев.

Встает вопрос, сохраняется ли обратная зависимость $h_{eff} - W$ для других физических параметров, в первую очередь для напряженности магнитного поля. Расчет отклика эквивалентной ширины на слой с близким к поперечному полем ($\gamma = 75^\circ$), напряженностью 50 Гс (рис. 3а) показывает, что обратной зависимости нет. Однако повторный расчет, но уже для поля близкого к продольному ($\gamma = 15^\circ$), показывает картину (рис. 3б), явно имеющую отношение как к зависимости CF(W), так и к зависимостям $RF(wI, wV, wQ)(H = 50, \gamma = 75^\circ)$.

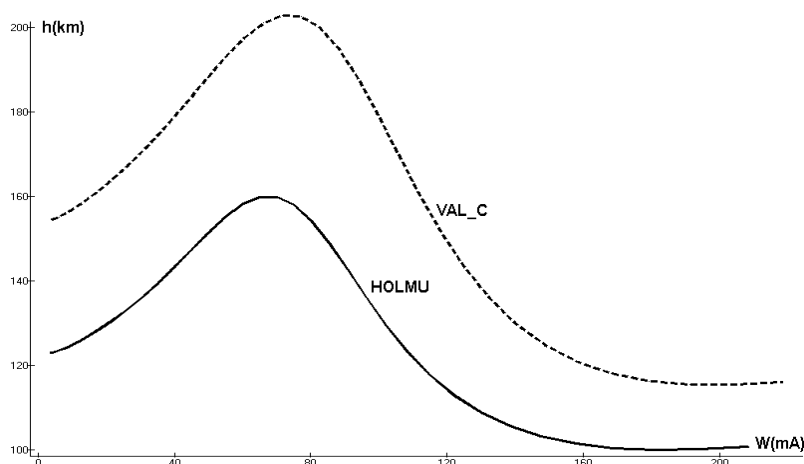


Рис. 2. Зависимость эффективной глубины образования эквивалентной ширины от значения эквивалентной ширины для искусственного набора линий с параметрами линии Fe I λ 6302 Å и вариацией $\lg(gf)$ от -3.4 до $+0.2$ dex для моделей фотосферы HOLMU и VAL C.

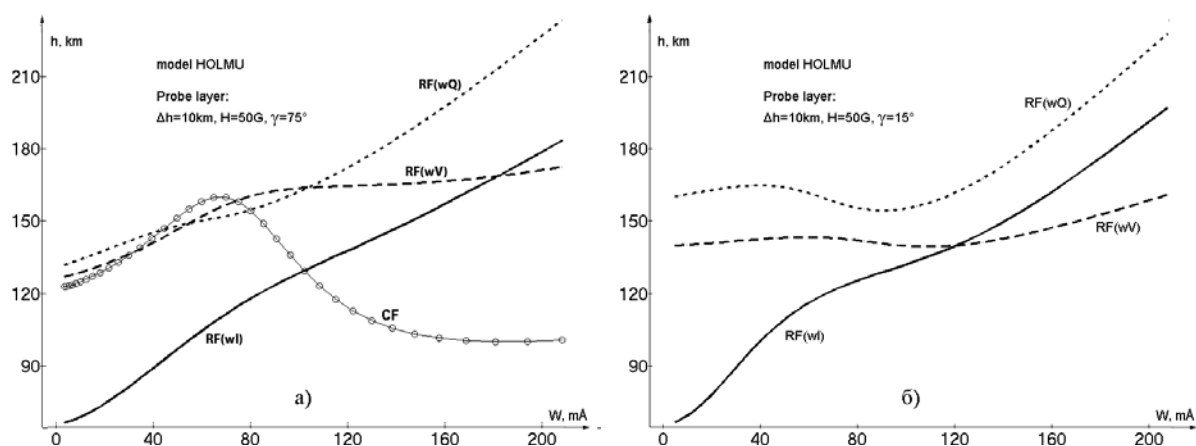


Рис. 3. Сравнение отклика на поле $H = 50$ Гс, $\gamma = 75^\circ$ (рис. 3а – слева) и $\gamma = 15^\circ$ (рис. 3б – справа) для RF(wI), RF(wV), RF(wQ) с функцией вклада CF (см. кривая для модели HOLMU на рис. 2).

Таким образом, рис. 3б иллюстрирует взаимосвязь эффективных глубин образования всех физических параметров. Также из рис. 3 становится ясно, что по тенденциям изменений глубин образования одних физических параметров нельзя говорить что-то определенное о других. Расчеты показывают, что и другие физические параметры не имеют зон обратной зависимости $h_{\text{eff}} - W$, как, например, функция отклика эквивалентной ширины на изменения микротурбулентной скорости RF(V_{mi}) или функции вклада в каждой из отдельных точек профиля линии CF(d_λ).

Функция отклика RF(V_{mi}) раскрывает еще некоторые важные детали. Из рис. 4а видно, что отклик эквивалентной ширины может иметь разный знак в зависимости от знака изменения величины V_{mi} в пробном слое. Кроме того, он имеет на порядок меньшую амплитуду, чем величина функции вклада CF. Для сравнения эффективных глубин функции вклада и отклика нормируют к единой шкале (рис. 4б), но нужно понимать, что «качество» сравниваемых эффективных глубин очень разное.

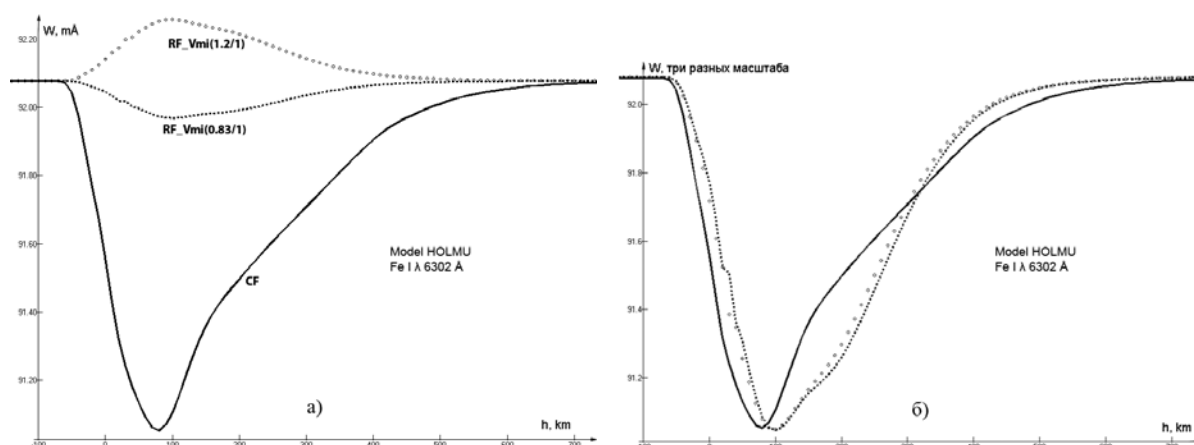


Рис. 4. Функции вклада CF и функции отклика RF на изменения микротурбулентной скорости V_{mi} в 1.2 раза от величины 1 км/с в обе стороны. Параметром сравнения является эквивалентная ширина W (mÅ). Рис. 4а (слева) – один масштаб W , рис. 4б (справа) – нормированные масштабы W .

Более того, если увеличить ширину пробного слоя с 10 до 100 км (рис. 5а), то будет получена функция RF переменного знака. Тонкий пробный слой создает просто небольшую добавку к разным частям профиля линии, широкий – может действовать иначе, он формирует более прозрачный или более поглощающий участок – своего рода фильтр для излучения, идущего из нижележащих слоев. В результате функция вклада/отклика может стать знакопеременной, а эффективная глубина, определяемая как половина площади под кривой, может потерять физический смысл, как это видно из сравнения эффективных глубин двух RF на рис. 5б.

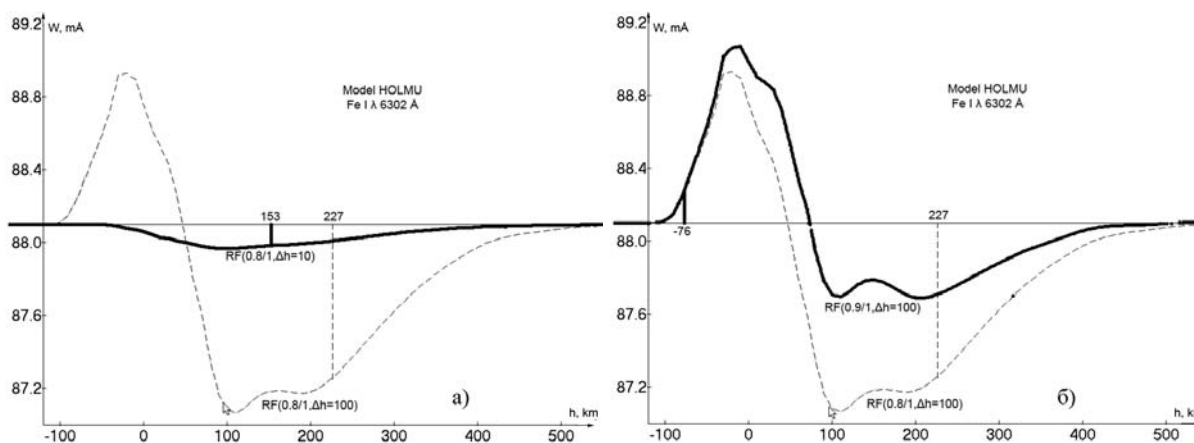


Рис. 5. Сравнения функций отклика RF для разной ширины пробного слоя (рис. 5а – слева) и для разной величины пробного сигнала (рис. 5б – справа).

Литература

1. Можаровский С.Г. // Труды Всероссийской конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2012», СПб., ГАО РАН, 2012, с.289–292.
2. Holweger H. and Müller E.A. // 1974. Solar Phys., v.39, p.19–30.
3. Vernazza J.E., Avrett E.H. and Loeser R. // 1981. The Astrophys. J. Suppl. Ser., v.45, p.635–725.