

МЕТОД ПРОБНОГО СЛОЯ В РАСЧЕТЕ ФУНКЦИЙ ВКЛАДА И ОТКЛИКА

С.Г.Можаровский

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

THE PROBE LAYER METHOD IN THE CALCULATIONS OF CONTRIBUTION AND RESPONSE FUNCTIONS

S.G.Mozharovsky

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

The method of probe layer for the calculation of response and contribution functions is discussed. The method is based on a numerical calculation of the formation of spectral line profiles. Calculating the profile of the line in the usual way, we can change a physical parameter in a narrow layer of the photosphere and calculate profile again. Consistently moving probe layer over the entire depth of the photosphere, and each time calculating the difference between the original and the changed profiles we can get the distribution of response to a perturbation with height.

In this work it is shown that the perturbation must be chosen with care. Thus, incorrect choice of Wittmann [2] led him to the wrong conclusion, that there is great uncertainty in determining the depth that generate the observed value of the magnetic field.

We have proposed in the probe layer to equate to zero the coefficients of the ratio of selective and continuous absorption in line center η_0 . This allows us to turn from the response functions to the contribution functions calculated with help of the probe layer (CFPL). CFPL are easy to understand, they take into account all the processes of emission and absorption in line formation, energy exchange between Stokes parameters intensity etc. Thus, such contribution functions are close to ideal and perhaps deserve greater use.

Функции вклада (CF) используются для вычисления глубин образования спектральных линий. Предполагается, что глубины образования это те глубины, из которых линия доносит информацию о среде. Проблема состоит в том, что существует множество вариантов функций вклада и множество способов их вычисления, и это, соответственно, дает разные глубины образования линий. Многовариантность функций вклада происходит из того, что понимание физического смысла этих функций вызывает затруднения (см. Гуртовенко и др.[1]). Как правило, функции вычисляются не интегрально по всей линии, а для заданной точки профиля. Решить эти две проблемы позволяет предлагаемый здесь метод "пробного слоя".

Данная методика применительно к функциям отклика (RF) была продемонстрирована Виттманом (1974) [2], который ссылаясь на Штауде (1972) [3], как на автора идеи. Суть заключалась в привлечении для

расчета RF программы, моделирующей формирование профиля линии в процессе прохождения излучения от нижних слоев фотосферы к её поверхности. Сначала вычислялся профиль для реалистичных физических условий - для заданной линии, модели и т.д. Затем в модель фотосферы вносилось точечное изменение физического параметра - для тонкого "пробного слоя" резко подменялись физические условия, и профиль линии пересчитывался заново. Отличие нового профиля от первоначального соответствовало отклику слоя. Перемещая пробный слой последовательно по всем высотам фотосферы, получали распределение отклика линии на изменяемый физический параметр.

Работа Виттмана оставила негативный отпечаток на идее использования пробного слоя. Виттман пришел к выводу, что влияние магнитного поля простирается на большой интервал глубин, а значит, оценку глубины образования поля можно сделать только с большой неопределенностью. И его вывод потом цитировался другими авторами. Но Виттман сделал методическую ошибку, он задал слишком большую разность напряженностей поля в пробном слое и в остальной фотосфере – 2000 Э и 0 Э соответственно, а также слишком большую ширину пробного слоя - около $0.5 \cdot \lg(\tau)$ по нашей оценке. Как меру воздействия на профиль он выбрал максимальную глубину V-параметра Стокса V_{MAX} . Мы повторили расчет, взяв другие значения ширины пробного слоя:

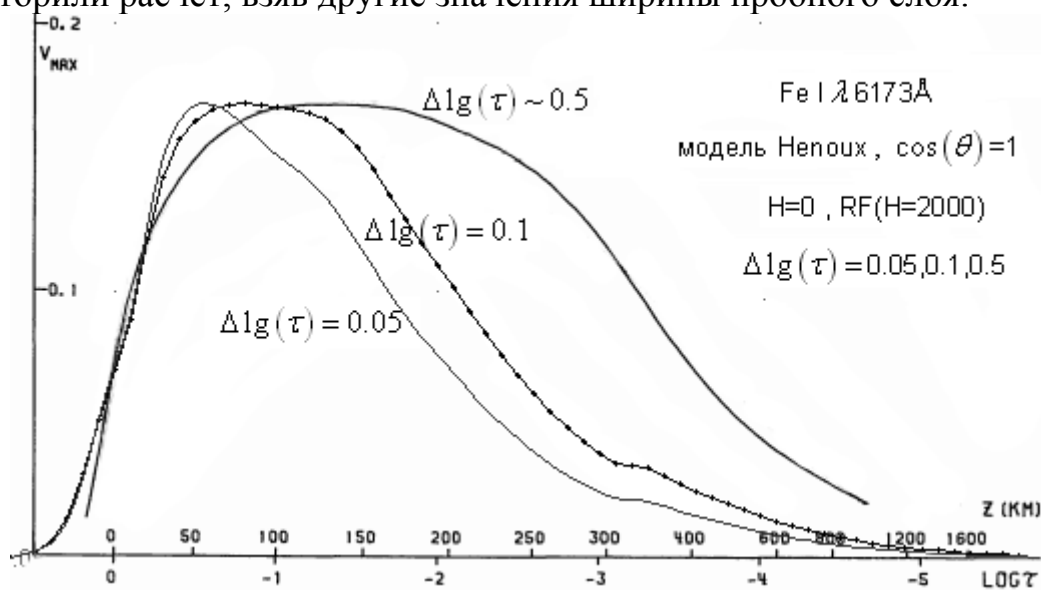
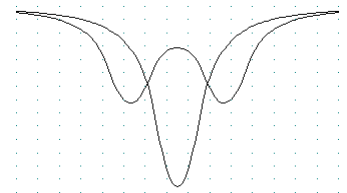


Рис.1. Кривая для $\Delta \lg(\tau) \sim 0.5$ и оси координат взяты непосредственно из работы Виттмана. Графики для $\Delta \lg(\tau) = 0.1$ и 0.05 посчитаны для тех же входных параметров и растянуты по оси V_{MAX} для удобства сравнения.

Выявились нелинейные искажения в схеме расчета, а именно, оказалось, что вид функции отклика RF, в частности её протяженность по глубине зависит от ширины пробного слоя. Причину можно понять, сравнив профили линии λ 6173 для напряженностей 0 и 2000 Э:



Образовавшись в пробном слое расщепленный профиль встречает по пути к поверхности прозрачные в местах максимумов σ -компонент слои. Пересчитав пример с напряженностями в фотосфере и пробном слое 2000 и 2100 Э, мы уже не видим зависимости RF от ширины пробного слоя:

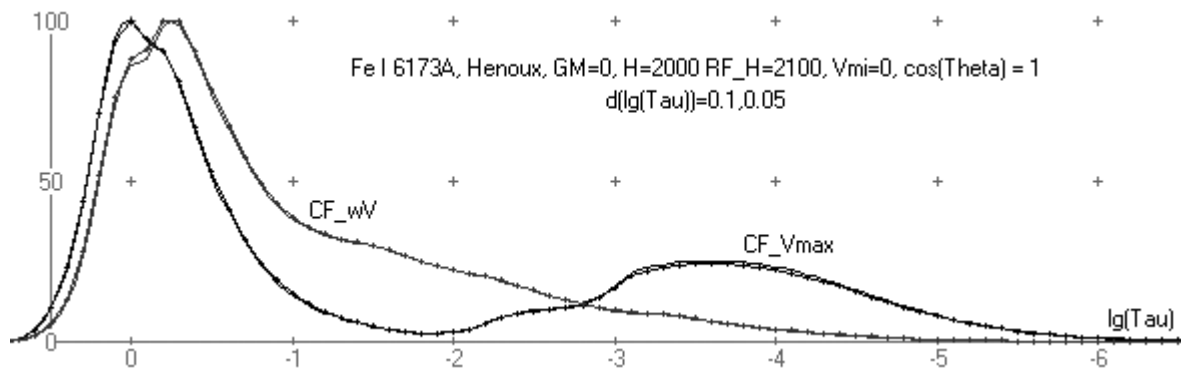


Рис.2. Функции вклада CFPL для пробного слоя шириной $\Delta \lg(\tau) = 0.1$ и 0.05 для двух методов сравнения профилей по максимальному значению V-параметра Стокса V_{MAX} и по эквивалентной ширине V-параметра W_V .

Можно заметить, что V_{MAX} – неудачный параметр для оценки глубины, из которой доходит информация о напряженности поля. Для этой цели больше подходит W_V - эквивалентная ширина параметра Стокса V.

Переход от функции отклика к функции вклада – обнуление η_0 .

Если задаться вопросом о глубине формирования интенсивности в линии, то первая идея состоит в том, чтобы варьировать температуру. По этому пути пошли Григорьева и др. [4]. Но вариация температуры ведет к изменению множества производных параметров как в самом пробном слое, так и вглубь модели. Она требует большого объема вычислений. Кроме того, изменив температуру, мы не можем в точности сказать, о какой именно модели фотосферы мы говорим. Поэтому возникла идея варьировать коэффициент поглощения в линии, точнее приравнять нулю отношение селективного и непрерывного поглощений в центре линии η_0 , то есть временно полностью отключать поглощение в линии. В результате, вычитая невозмущенный профиль из профилей, рассчитанных с учетом пробного слоя, мы получим с обратным знаком почти идеальную функцию вклада. Мера её идеальности будет ограничена только тем, какие механизмы формирования линий не учтены в моделирующей программе.

Если считать разности глубин невозмущенного профиля и профиля с пробным слоем на заданном расстоянии от центра линии $D - D_x^*$ и перемещать пробный слой с постоянным шагом по глубине, заданной в виде $X = \lg(\tau)$, то можно записать $CF_{D,x} = (D - D_x^*) / D$. А можно считать разности эквивалентных ширин $W - W_h^*$, пробный слой перемещать с постоянным шагом по геометрической глубине h (км) и в этом случае записать $CF_{W,h} = (W - W_h^*) / W$.

Многие авторы функции вклада разделяют на функции вклада в эмиссию и функции вклада в депрессию. Очевидно, что в нашем случае функция вклада интегрирует и излучение, и поглощение, поэтому её распределение на шкале $\lg(\tau)$ или h должно занимать промежуточное положение между положениями традиционных функций вклада в эмиссию и депрессию. Сравнение расчетов, в частности, с результатами Гроссман-Доерс и др [5] показывает, что так оно и есть:

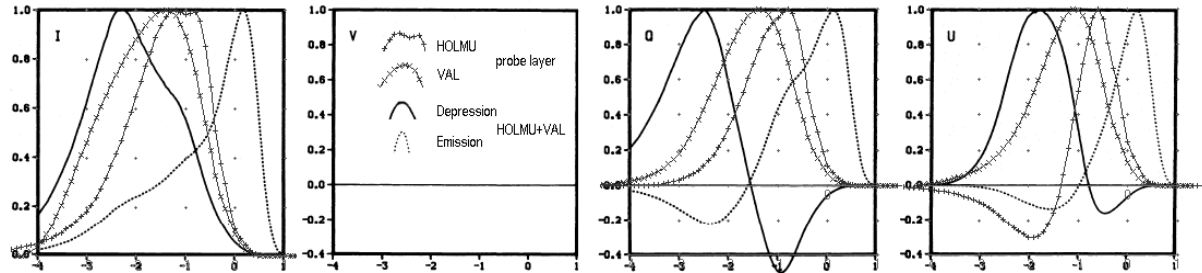


Рис.3. Расчет Гроссман-Доерс функций вклада в эмиссию и депрессию (тонкая и жирная линии) для центра линии Fe I 5250 Å для комбинированной модели HOLMU+VAL и наш сравнительный расчет функций вклада методом пробного слоя для моделей HOLMU и VAL по отдельности.

Среди CF, полученных не из вычислительных алгоритмов, а из формул к CFPL более всего приближаются результаты Альмейды [6]:

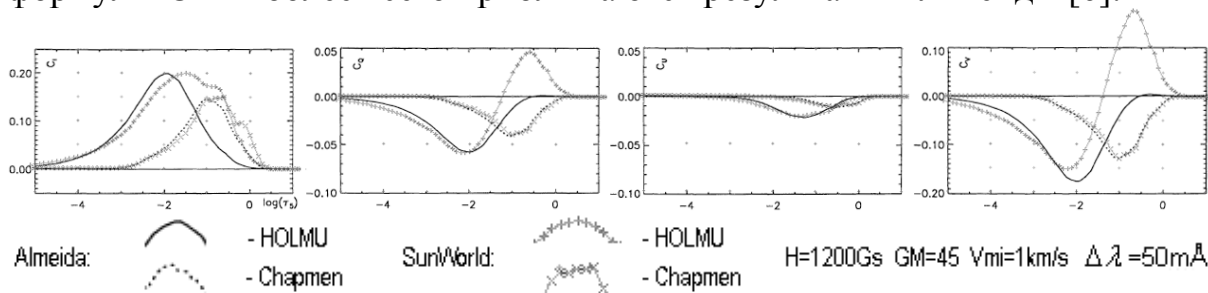


Рис. 4. Расчет функций вклада Альмейды и наш (с помощью программы SunWorld) для параметров Стокса линии Fe I 5250 Å для модели HOLMU и модели факела Chapman.

Функция вклада, полученная методом пробного, слоя имеет простой физический смысл, понятный из способа её расчета. Очевидно, что если сравнивать эталонный и пробные профили по глубине центра линии, то функция вклада должна быть пропорциональна коэффициенту поглощения в центре линии, умноженному на изменение функции источника в слое:

$$CF \propto \eta_0 \cdot \Delta S$$

Литература

1. Gurtovenko E.A., Sheminova V.A., Sarychev A.P. // 1991. Solar Phys., v.136, p.239-250.
2. Wittmann A. // 1974. Solar Phys., v.35, p.11-29.
3. Staude J. // 1972. Solar Phys., v.24, p255-261.
4. Grigoryeva S.A., Turova I.P., Teplitskaja R.B. // 1991. Solar Phys., v.135, p1-14.
5. Grossmann-Doerth U., Larsson B., Solanki S.K. // 1988. Astron. Astrophys. v.204, p.266-274
6. Almeida J.S. // 1992. Solar Phys., v.137, p.1-14