

52

A7



На правах рукописи

Э. А. БАРАНОВСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ

(Специальность 01.031 — Астрофизика)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР.

Научный руководитель — академик А. Б. Северный.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор Г. Ф. Ситник,
кандидат физико-математических наук Н. И. Кожевников.

Ведущее научно-исследовательское учреждение — Главная астрономическая обсерватория АН СССР.

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита состоится « » 197 г. на заседании Ученого совета Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАИШ.

Ученый секретарь ГАИШ
канд. физ.-мат. наук

Л. Н. Бондаренко

Изучению физических условий в солнечных пятнах посвящено очень много работ. Однако в настоящее время нет еще единого мнения о природе пятен. Неизвестно, является ли пятно более прозрачным или более плотным (непрозрачным), чем возмущенная фотосфера. Неизвестно, какое давление в пятне — соответствует оно условиям гидростатического равновесия или же оно значительно меньше. Модели солнечных пятен разных авторов сильно различаются между собой как по прозрачности, так и по величине газового давления.

Перечислим основные причины, которые могут вызывать такое различие моделей.

1. Построение модели по наблюдениям разных авторов для разных пятен. Это приводит к тому, что при определении, например, электронного давления p_e для данного пятна берется заведомо неверное значение температуры T , поскольку величина T определена по другим пятнам (разные пятна имеют разную температуру). В результате мы получаем ошибочное значение электронного давления, так как результат определения величины p_e зависит от принятой величины T .

2. Построение модели по слишком малому объему наблюдательного материала.

3. Различие методики построения моделей. Методы эмпирические (когда все параметры модели — температура T , газовое и электронное давления P_g и p_e — определяются по наблюдательным данным) и полуэмпирические (в которых давления P_g и p_e вычисляются по формулам гидростатического и ионизационного равновесия) рассматривают в сущности разные стороны проблемы. В эмпирических моделях задачей является объяснение наблюдаемых значений эквивалентных ширин, контуров линий и интенсивности непрерывного спектра. В полуэмпирических моделях вопрос ставится так: чему будет равно давление в пятне, если при заданной температуре T осуществляется гидростатическое и ионизационное равновесие? Вопрос о соответствии вычисленных наблюдаемых величин, характеризующих спектр пятна, вообще не рассматривается. Поэтому различие между эмпирическими и полуэмпирическими моделями вполне естественно.

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА

Некоторые методы, как, например, элементарная теория кри-
вого роста, являются недостаточно строгими и дают только очень
грубые приближения.

4. Трудности учета рассеянного света. Неправильная величина
рассеянного света может существенно повлиять на характеристики
получаемой модели. Однако достаточно надежных способов учета
рассеянного света пока нет.

Реферлируемая работа посвящается дальнейшему изучению фи-
зических условий в пятне эмпирическим методом. Главы II—IV
посвящены эмпирическому определению прозрачности пятна и
градиента газового давления в пятне; рассматривается также во-
прос о влиянии дополнительного поглощения в непрерывном спектре
на прозрачность модели пятна. В последней, V главе, получена
эмпирическая модель пятна по наблюдениям эквивалентных ши-
рин и профилей линий поглощения и непрерывного спектра. Весь
наблюдательный материал, используемый в диссертации, получен
автором на солнечных телескопах БСТ и ГСТ Крымской астро-
физической обсерватории АН СССР.

Ниже кратко изложено содержание отдельных глав диссер-
тации.

В главе I дается обзор литературы по тем вопросам, которые
рассматриваются в данной работе.

В главе II изучается смещение пятна в сторону лимба в ли-
ниях поглощения. Можно представить себе две причины, вызы-
вающие такое смещение. Первая заключается в том, что центр
линии поглощения образуется в хромосферных слоях, т. е. значи-
тельно выше уровня образования непрерывного спектра. Такое
объяснение смещения пятна в линиях бальмеровской серии и не-
которых линиях металлов было предложено Северным и Бумбой
[1] и Маттигом [2, 3, 4]. Второй возможной причиной является вы-
сокая прозрачность пятна. В этом случае уровень образования
непрерывного спектра опущен на некоторую глубину по сравнению
с уровнем образования центра линии поглощения.

Оставалось неясным, какова относительная роль первой и вто-
рой причин. Решение этого вопроса явилось бы одновременно ре-
шением проблемы прозрачности пятна.

Нами измерено смещение пятен в линиях λ 6253 Fe I и λ 6258
Ti I (36 пятен) и в линии H_{α} (18 пятен) для различных гелио-
центрических углов. Полученная таким образом эмпирическая за-
висимость $\Delta(\rho)$ (Δ — величина смещения, ρ — расстояние пятна
от центра диска) сравнивается с теоретической. Показано, что
наблюдаемый ход Δ с ρ для линий λ 6253 Fe I и λ 6258 Ti I может
иметь место только в том случае, если смещение Δ вызвано про-
зрачностью пятна. По величине смещения линий Fe I и Ti I оце-
нивается прозрачность пятна — пятно получается прозрачнее фото-
сферы в 7 раз.

Величина смещения в линии H_{α} превосходит величину сме-
щения в линиях Fe I и Ti I. Отсюда делается вывод, что смещение

пятна в линии H_{α} вызывается как прозрачностью пятна, так и
тем обстоятельством, что H_{α} образуется в хромосфере. Вид за-
висимости $\Delta(\rho)$ для H_{α} также соответствует этому заключению.
По величине смещения пятна в линии H_{α} определена высота об-
разования этой линии над пятном: $h = 740$ км.

В главе III определяется изменение величины

$$\eta_{\nu} = \frac{\sigma_{\nu}}{k_{\nu}} = H(a, \rho) \frac{\sigma_{\nu_0}}{k_{\nu_0}}$$

(σ_{ν} , k_{ν} — коэффициенты селективного и непрерывного погло-
щения,

$$H(a, \rho) = \frac{a}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-y^2} dy}{a^2 + (\rho - y)^2}$$

с оптической глубиной τ . В работе автора и Степанова [5] было
обнаружено, что наблюдаемые и теоретические контуры линии
 $D_1\text{NaI}$ в пятне сильно различаются между собой. Наблюдаемые
контуры характеризуются интенсивными, протяженными крыльями.
Теория не дает таких пологих крыльев.

Для выяснения причины этого расхождения теории с наблю-
дениями мы исследуем здесь контуры трех линий: $D_1\text{NaI}$, λ 5173
Mg I и λ 5434 Fe I. Линии Mg I и Fe I обнаруживают такое же не-
соответствие теоретических и наблюдаемых контуров, как и ли-
ния $D_1\text{NaI}$. Теоретический контур зависит как от вида функции
 $H(a, \rho)$, так и от хода величины

$$\eta_{\nu} = \frac{\sigma_{\nu}}{k_{\nu}}$$

с оптической глубиной τ . Показано, что для $\eta_{\nu}(\tau) = \text{const}$ невоз-
можно путем подбора физических параметров получить такой вид
функции $H(a, \rho)$, чтобы теоретические контуры хорошо представ-
ляли наблюдения. Согласовать между собой теоретические и на-
блюдаемые контуры оказалось возможным путем подбора зави-
симости $\eta_{\nu}(\tau)$; определена необходимая для такого согласования
зависимость $\eta_{\nu}(\tau)$. Величина $\eta_{\nu}(\tau)$ оказалась возрастающей с
глубиной таким образом, что в интервале оптической глубины τ
от 0,1 до 0,6 η_{ν} увеличивается на 2—3 порядка. Существующие
модели пятен не дают такого изменения величины η_{ν} с оптиче-
ской глубиной.

В главе IV определена модель пятна по измерениям эквива-
лентных ширин и интенсивности крыльев линий поглощения нейт-
ральных атомов. По контурам крыльев линий $D_2\text{NaI}$ и λ 5173 Mg I
определен градиент газового давления.

Обработаны спектрограммы 5 пятен, полученные на эшелюном
спектрографе горизонтального солнечного телескопа [6]. Для оп-

ределения температуры пятна измерялись эквивалентные ширины линий NaI, CaI, Sc I и TiI (8 линий). Эти элементы имеют низкий потенциал ионизации, поэтому эквивалентные ширины линий в пятне не зависят от электронного давления p_e , т. е. определяются только температурой пятна. Электронное давление p_e определялось по линиям FeI и NiI (8 линий). Эквивалентные ширины линий этих элементов зависят как от температуры так и от электронного давления.

Рассматривались величины w_n/w_ϕ , т. е. отношение эквивалентных ширин линий в пятне и фотосфере. Отношения w_n/w_ϕ были вычислены методом весовых функций для ряда значений температуры T в пятне. Температура задавалась величиной $\Delta\theta$, прибавляемой к соответствующему значению для фотосферы, т. е. $\theta_n(\tau) = \theta_\phi(\tau) + \Delta\theta$;

$$\theta = \frac{5040}{T}.$$

Наилучшее согласие вычисленных и наблюдаемых величин w_n/w_ϕ получено для $\Delta\theta = 0,34$. Аналогичным образом определено электронное давление p_e . Градиент электронного давления взят из модели Мишара. Окончательно получено $p_e = 0,74 p_{em}$, где p_{em} — электронное давление в модели Мишара.

По измерениям интенсивности крыльев линий D_2NaI и $\lambda 5173 MgI$ определено газовое давление P_g . В крыле линии имеем

$$\eta_v = \frac{\sigma_v}{k_v} = \gamma_c f(T, p_e), \quad (1)$$

где $\gamma_c = C_n \theta^{0,7} P_g$ — постоянная затухания, C_n — некоторая постоянная величина. С другой стороны, величину η (τ) можно определить эмпирически по контурам крыльев линий. Это делается путем подбора такой зависимости $\eta_v(\tau)$, при которой наблюдаемые и теоретические контуры совпадают. Сравнение эмпирической и теоретической величины $\eta_v(\tau)$ при заданных значениях $T(\tau)$ и $p_e(\tau)$ в пятне дает возможность определить величину $\gamma_c(\tau)$ или $P_g(\tau)$. Определенное таким образом газовое давление характеризуется большим градиентом — значительно большим, чем в моделях Мишара и Маттига. Величина давления получается меньше величины гидростатического давления.

С помощью определенных величин $T(\tau)$, $p_e(\tau)$ и $P_g(\tau)$ вычислена прозрачность пятна. Внешние слои пятна оказываются прозрачнее фотосферы в 10 раз, прозрачность быстро уменьшается в глубь пятна.

Рассматривается влияние дополнительного поглощения в непрерывном спектре на построение модели. Показано, что введение дополнительного поглощения k_m ($k = k(H^-) + k_m$, $k(H^-)$ — поглощение отрицательных ионов водорода, k — суммарное поглощение)

уменьшает величины T , p_e и P_g , увеличивая вместе с тем прозрачность модели.

В главе V определяется модель пятна на базе более обширного наблюдательного материала: кроме линий нейтральных атомов используются также линии ионизованного железа и скандия и измерена интенсивность непрерывного спектра пятна для ряда длин волн. Температура пятна определена по интенсивности непрерывного спектра из условия, что вычисленная интенсивность должна быть равна наблюдаемой, как и в главе IV, температуру мы задаем равенством $\theta_n(\tau) = \theta_\phi(\tau) + \Delta\theta$. Электронное давление p_e определено по эквивалентным ширинам линий FeI, SiI, NiI, ScII и FeII (25 линий). Градиент электронного давления принят такой же, как и в невозмущенной фотосфере. С определенными таким образом величинами $T(\tau)$ и $p_e(\tau)$ вычислены эквивалентные ширины линий нейтральных атомов Sc, V, Ti, Cr, Ca и Na (19 линий). Сравнение вычисленных w_n и наблюдаемых w_n значений эквивалентных ширин для этих элементов показало, что *соотношение $w_n > w_\phi$ имеет место для всех линий*, причем несоответствие величин w_n и w_ϕ тем больше, чем в более высоких слоях образуется линия. Устранить это несоответствие изменением градиента электронного давления невозможно, так как эквивалентные ширины рассматриваемых элементов почти не зависят от p_e . Изменением градиента температуры удалось только немного уменьшить величину w_n/w_ϕ .

Полное соответствие величин w_n и w_ϕ можно получить только с помощью гипотезы о дополнительном поглощении k_m в непрерывном спектре. Рассчитана зависимость $k_m(\tau)$, при которой выполняется равенство $w_n = w_\phi$. Дополнительное поглощение оказывается возрастающим к внешним слоям пятна.

Определено газовое давление P_g по крыльям линий CaI и FeI (6 линий).

Окончательная модель характеризуется следующими данными: 1) $\Delta\theta = 0,44$; 2) электронное давление p_e в 20 раз меньше фотосферного; 3) газовое давление P_g в 3 раза меньше фотосферного; 4) дополнительное поглощение в непрерывном спектре превышает поглощение отрицательных ионов водорода в 7 раз (внешние слои); 5) пятно прозрачнее фотосферы в 6 раз.

Общий объем диссертации 107 страниц, иллюстраций — 21, библиография — 100 названий.

Основные результаты работы опубликованы в следующих статьях:

1. Барановский Э. А. Известия Крымской астрофиз. obs., т. 23, 1960.
2. Барановский Э. А. Известия Крымской астрофиз. obs., т. 40, 1969.
3. Барановский Э. А. Известия Крымской астрофиз. obs., тт. 41—42, 1970.
4. Барановский Э. А. Известия Крымской астрофиз. obs., т. 44 (в печати).

ЛИТЕРАТУРА

1. Severny A. B., Bumba V. The Observatory, 78, 33, 1958.
2. Mattig W. Die Naturwissenschaft, 45, 104, 1958.
3. Mattig W. Mitt. Astroph. Observ. Potsdam, No. 82, 1959.
4. Mattig W. Solar Phys., 8, No. 2, 1969.
5. Барановский Э. А., Степанов В. Е. Изв. Крым. астрофиз. обс., т. 21, 1959.
6. Коваль А. Н., Степанян Н. Н. Изв. Крым. астрофиз. обс., тт. 41—42, 1970.

Подписано к печати 31/VIII 1971 г. №206, Формат 60×90¹/₁₆
Физ. печ. л. 0,5 Заказ 570 Тираж 200 экз.

Издательство Московского университета
Москва, К-9, ул. Герцена, 5/7
Типография Изд-ва МГУ, (филиал)
Москва, проспект Маркса, 20.

Центральная научная
библиотека
Академии наук Киргизской ССР

