

О ВЕЛИЧИНЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕНИ ПЯТЕН

М. Дж. Гусейнов

Изучается распределение магнитного поля в тени пятен по высоте. Напряженность магнитного поля определена в разных спектральных линиях с различной интенсивностью по поляризационным спектрограммам, полученным на БСТ Крымской астрофизической обсерватории. За высоту образования линий принята величина относительного смещения положений тени пятна в ядрах линий и непрерывном спектре при наблюдении вблизи края диска Солнца.

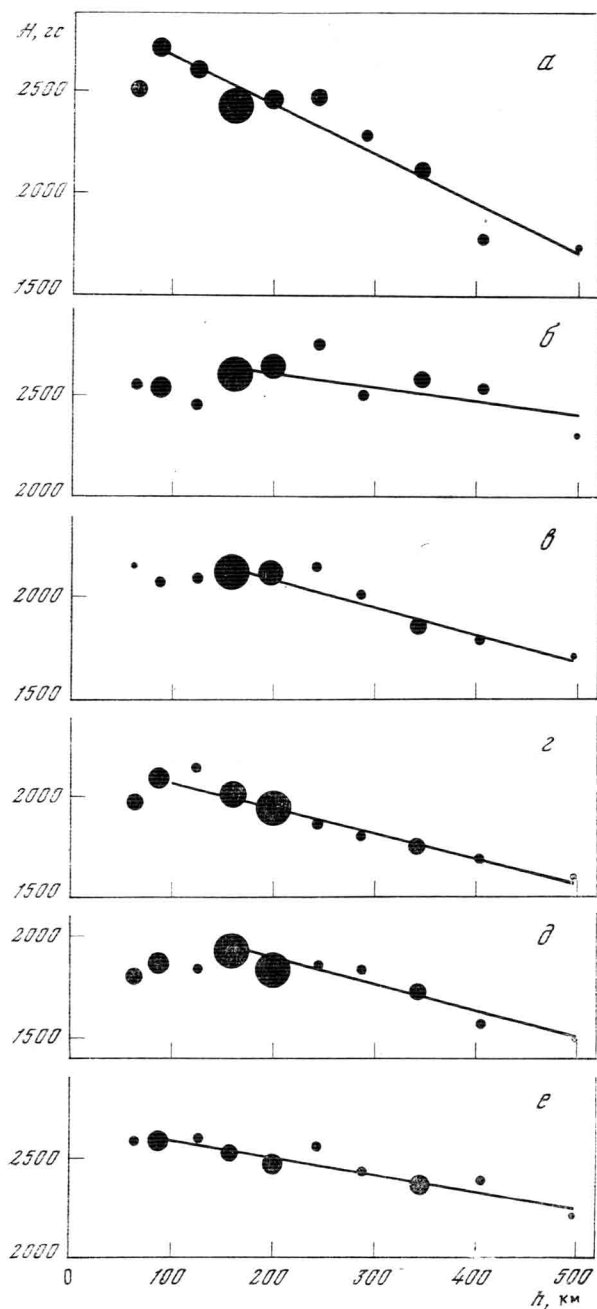
Найдены численные значения вертикальных градиентов напряженности магнитного поля $\Delta H/\Delta h$ в тени нескольких пятен. В глубоких слоях, где возникают линии Fe I с роуландовскими интенсивностями $I = 1 \div 10$, напряженность магнитного поля уменьшается с высотой с градиентом $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,8 \div 2,3$ Гс/км, в относительно высоких слоях на уровне образования ядер линий H_α и H_β Ca II $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,2 \div 0,6$ Гс/км. Эти величины, полученные *независимо от моделей*, хорошо согласуются со значениями вертикальных градиентов магнитного поля, найденными ранее разными авторами для *разреженных моделей* тени пятен.

ON THE VERTICAL GRADIENT OF MAGNETIC FIELD STRENGTH IN THE SUNSPOT UMBRA, by M. J. Huseynov.— The vertical distribution of magnetic field in the sunspot umbra is investigated. The magnetic field strength was determined from the spectral lines of different intensities with the use of polarization spectrograms, obtained at the tower solar telescope of the Crimean astrophysical observatory. The value of shift in positions of umbra near the limb measured in the line core relative to that in the continuum was taken as the height of the line formation.

The values of vertical gradient of magnetic field in a few sunspot umbrae were determined. In the deep layers, where the Fe I lines with Rowland intensity $T = 1 \div 10$ originate from, the magnetic field strength decreases with the height; the gradient is

$\Delta H/\Delta h \approx 0.8 \div 2.3$ Gs/km. In the relative high layers forming the core of H_α and H_β Ca II lines, the gradient is $|\Delta H/\Delta h| \approx 0.2 \div 0.6$ Gs/km. These values, agree well with numerical values for the vertical gradients, determined earlier by several authors for transparent models of the sunspot umbra.

Численные значения вертикальных градиентов напряженности магнитного поля в пятнах определяются несколькими способами. Одним из них является измерение поля в различных линиях, образующихся на разных высотах. Но из-за большого различия шкалы высот применяемых моделей пятен величины вертикальных градиентов, найденные разными авторами, сильно расходятся. Например, градиенты, рассчитанные по модели Маттига (плотная модель), в 5—10 раз превышают градиенты, получаемые для модели Мишара (прозрачная модель) [1—3]. Поэтому необходимо использовать такие высоты образования спектральных линий, которые определяются независимо от моделей пятен.



Распределение напряженности магнитного поля H в тени различных пятен по высоте h

a — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно a ; $б$ — то же пятно 5.IX; $в$ — то же 7.IX; $г$ — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно b ; $д$ — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно c ; $е$ — 18.X 1961 г., гр. 286

эффектами Зеемана. Материал и условия наблюдений подробно описаны в [2, 3]. Отметим только, что магнитные расщепления линий измерены на микроскопе МИР-12, среднеквадратичная ошибка определений H по каждой линии 50–120 Гс в зависимости от множителя $g\lambda^2$ и линейной дисперсии спектров.

За высоту образования h каждой линии поглощения мы приня-

Известно, что вблизи края диска Солнца тени пятен в спектральных линиях смещается относительно ее положения в непрерывном спектре. Можно предположить, что эти смещения тени в какой-то мере характеризуют высоту образования соответствующих линий. Впервые Северный и Бумба [4], затем Маттиг [5] и другие исследователи [6–10] этим способом оценили эффективные высоты возникновения многих спектральных линий в тени пятна. Как нам кажется, по распределению напряженности магнитного поля по высоте, соответствующей смещению положений тени пятна в линиях и непрерывном спектре, можно определить приближенные значения вертикальных градиентов поля $\Delta H/\Delta h$ независимо от моделей пятна. Сравнение величин $\Delta H/\Delta h$, полученных таким путем и найденных ранее для разных моделей, возможно, позволит судить о том, какая шкала высот существующих моделей пятен наиболее приемлема.

С этой целью мы построили соотношение между напряженностью магнитного поля H в тени нескольких пятен по различным линиям и высотой их образования h (см. рисунок). Значения H взяты из [2, 3]. Но здесь мы используем только линии нейтрального железа Fe I, исключив несколько линий с интеркомбинационными переходами и сложными

Дата наблюдения, 1961 г.	Пятно	В слое с $h \approx 150 \div 500$ км	В слое от $h \approx 500$ км до высот образования ядер линий H_α и H_β Ca II
2.IX	Гр. № 251, пятно <i>a</i>	2,3	0,6
	То же, пятно <i>b</i>	1,3	0,2
	» пятно <i>c</i>	1,3	0,4
5.IX	Гр. № 251, пятно <i>a</i>	0,8	1,0
7.IX	» »	1,3	0,5
18.X	Гр. № 286, лидер	0,9	0,6

ли величину, соответствующую смещению положения тени пятна в ядре линии относительно ее положения в непрерывном спектре при наблюдении вблизи края диска Солнца. Маттиг нашел зависимость между роуландовской интенсивностью и величиной вышеуказанного смещения (см. фиг. 4 в [10]). Согласно этой зависимости по известным роуландовским интенсивностям мы определили значения h для применяемых нами спектральных линий. Правда, при таком определении h вносится некоторая ошибка, так как не учитывается различие глубин образования непрерывного спектра в различных длинах волн λ . Но влияние этой ошибки на определения значений $\Delta H/\Delta h$ не может быть значительным, ибо, во-первых, различие h непрерывного спектра в разных длинах волн небольшое, во-вторых, линии с разными интенсивностями (высотами образования) почти равномерно распределены по спектру.

На рисунке по оси абсцисс отложена высота h относительно уровня излучения непрерывного спектра тени пятна, по оси ординат — величина напряженности магнитного поля H . Для линий с одинаковыми роуландовскими интенсивностями величина H осреднена. На рисунке размеры точек соответствуют числу линий: самая маленькая точка — одной линии, наибольшая — восьми линиям.

Из рисунка видно, что для всех пятен величина H в среднем уменьшается с высотой. Скорость изменения H с высотой различна для разных пятен. Для одного и того же пятна (пятно *a* гр. № 251) она изменяется со временем. В слое $h \approx 50 \div 150$ км во многих случаях H спадает медленнее, чем в ближайших более высоких слоях. Иногда в этом слое будто бы происходит даже некоторое увеличение H с высотой. Но подобный эффект, возможно, связан с неоднородностью тени пятна. Поле в этом слое измерено в линиях с интенсивностью $I = 0 \div 2$, потенциалы возбуждения их нижнего уровня большие. Эти линии в спектре тени пятна в основном ослабевают. Поэтому вполне вероятно, что вклад наиболее темных узлов тени (узлов с наибольшими H) в этих линиях заметно уменьшается. Такая возможность следует из результатов работ [11—14].

По распределению напряженности магнитного поля по высоте мы оценили приблизительные значения вертикального градиента напряженности магнитного поля $\Delta H/\Delta h$ в слое с $h \approx 150 \div 500$ км. Для разных пятен величина $|\Delta H/\Delta h|$ находится в пределах $0,8 \div 2,3$ Гс/км (см. таблицу).

Для определения вертикального градиента $\Delta H/\Delta h$ на более высоких уровнях над пятном мы измерили магнитное расщепление $\Delta\lambda_H$ линий H_α и H_β Ca II в тех же пятнах. Эти измерения были проведены по записям на саморегистрирующем микрофотометре МФ-4. Методика таких измерений $\Delta\lambda_H$ подробно описывалась нами в [15]. Отметим, что напряженность магнитного поля H определялась по сдвигам контуров линий во взаимно ортогональных поляризациях для H_α на расстоянии от центра линии $\Delta\lambda = \pm (0,30 \div 0,40)$ Å, а для H_β Ca II $\Delta\lambda = \pm (0,05 \div 0,10)$ Å. Полученные результаты показывают, что над тенью пятен на уровнях образования центральных частей линий H_α и H_β Ca II имеются большие поля с напря-

женностью $H = (1000 \div 1600) \pm 200$ Гс. Это еще раз подтверждает вывод Северного и Бумбы [4] о том, что магнитные поля легко проникают на довольно большую высоту над тенью пятен.

Условно приняв возможную среднюю высоту образования ядер линий H_α и H_β Ca II около 1500 км и осреднив значения напряженности магнитного поля H , полученные по ним, мы грубо оценили средние величины $\Delta H/\Delta h$ для изученных пятен в слое с высотой $h \approx 500 \div 1500$ км. Для разных пятен значения $|\Delta H/\Delta h|$ в этом слое в основном находятся в пределах $0,2 - 0,6$ Гс/км, но для пятна a гр. № 251, наблюдаемого 5.IX 1961 г., $|\Delta H/\Delta h| \approx 1$ Гс/км (см. таблицу). Необходимо еще раз подчеркнуть, что эти значения $\Delta H/\Delta h$ очень приблизительные, так как принятая высота образования линий H_α и H_β Ca II в тени пятна весьма грубая. Во-первых, результаты различных авторов по определению высоты образования этих линий по наблюдениям пятен вблизи лимба значительно расходятся, во-вторых, для различных пятен получаются разные высоты [5—9].

Таким образом, можно заключить следующее.

Напряженность магнитного поля в тени изученных пятен уменьшается с высотой с градиентом $0,8 - 2,3$ Гс/км в слое с $h \approx 150 \div 500$ км, а на более высоких уровнях (от $h \approx 500$ км до высот образования ядер линий H_α и H_β Ca II) $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,2 \div 0,6$ Гс/км. Величина вертикального градиента магнитного поля различна для разных пятен, она примерно в 2—4 раза уменьшается с переходом от глубоких слоев к слоям хромосферы над тенью пятен. Для одного и того же пятна вертикальный градиент поля $\Delta H/\Delta h$ изменяется со временем.

Численные значения $\Delta H/\Delta h$, определенные здесь независимо от моделей пятен, хорошо согласуются с величинами вертикальных градиентов поля, найденных ранее разными авторами по разреженным моделям [1—3, 16].

Выражаю искреннюю благодарность академику А. Б. Северному, Н. Н. Степанян и Э. А. Барановскому за важные замечания и советы.

Примечание при корректуре. Когда статья была в печати, в КАО АН СССР поступила работа [17], где для вычисления вертикального градиента магнитного поля используется шкала высот модели пятен по [18]. Полученные в [17] значения градиента ($0,7$ Гс/км $\leq \Delta H/\Delta h \leq 2$ Гс/км) согласуются с результатами настоящей работы.

12 ноября 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. М., «Мир», 1967, с. 282.
2. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1968, 39, 253.
3. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1970, 41—42, 89.
4. Severny A. B., Bumba V. Observatory, 1958, 78, N 902, 33.
5. Mattig W. Mitt. Astrophys. Observ. Potsdam, 1959, N 82.
6. Вальшин Г. Ф., Крам В. А. Изв. ГАО, 1965, 24, вып. 2, № 178, 26.
7. White O. R., Wilson P. R. Astrophys. J., 1966, 146, N 1, 250.
8. Vappi M. K. V., Sivaraman K. R. IAU Sympos. N 35 (Budapest), 1968.
9. Oddbjörn E. Solar Phys., 1969, 8, N 2, 284.
10. Mattig W. Solar Phys., 1969, 8, N 2, 291.
11. Obridko V. N. Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1968, 19, N 4, 183.
12. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1974, 49, 15.
13. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1974, 50, 168.
14. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1975, 53, 66.
15. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1973, 47, 7.
16. Ягер К. де. Строение и динамика атмосферы Солнца. М., ИЛ, 1962, с. 104.
17. Makita M., Nemoto K. Publ. Astron. Soc. Japan, 1976, 28, N 3, 495.
18. Henoux J. C. Astron. Astrophys., 1969, 2, N 3, 288.