

ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

К. В. Аликаева

(Главная астрономическая обсерватория АН УССР)

В литературе отмечены случаи, когда некоторые линии металлов были расщеплены на две компоненты [1—3]. Это в первую очередь линии D_1 (Na), λ 3944 Å (Al), λ 3706 Å (Ca^+), а также некоторые линии Fe и Ti^+ .

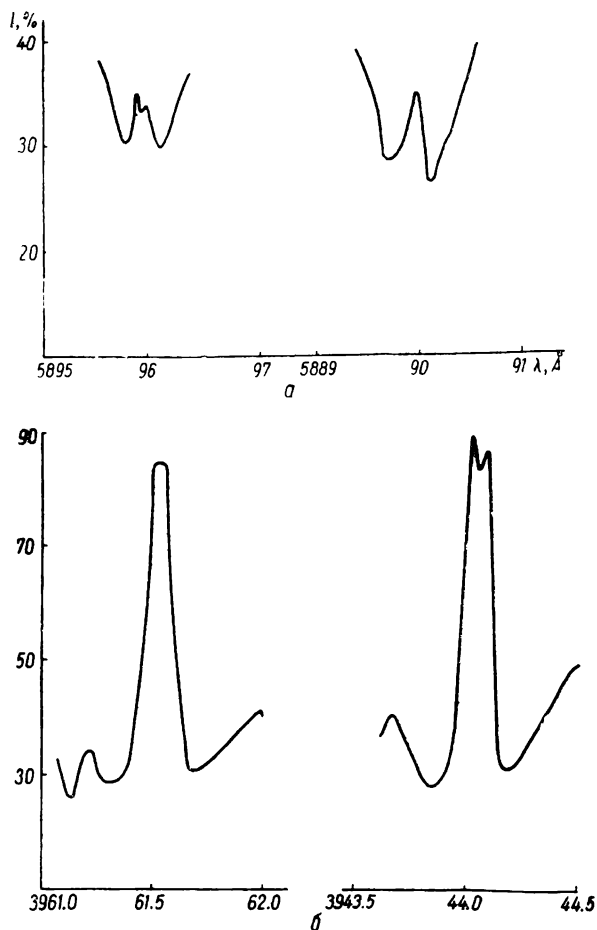


Рис. 1. Контуры линий D_1 , D_2 (Na) (а) и $\lambda\lambda$ 3962, 3944 Å (Al) (б) во вспышке 12. VII 1961 г.

То, что линии D_1 , 3944 и 3706 Å расщеплены, а D_2 , 3962 и 3737 Å не расщеплены, свидетельствовало о магнитном расщеплении этих линий. Такое объяснение и было дано в работах [1, 2]. Вспышки, в которых наблюдался этот эффект, возникли над пятнами, т. е. в области сильных магнитных полей. Оцененная по величине зеемановского расщепления напряженность магнитного поля оказалась довольно большой — 2500—4200 гс, что соответствует напряженности поля в пятнах.

Позже авторы отказались от интерпретации расщепления эффектом Зеемана, поскольку обнаружили расщепление и в линии D_2 [3]. В качестве возможной причины провала центральной интенсивности в

линиях металлов рассмотрено поглощение в относительно холодном верхнем слое вспышки.

Однако это утверждение в ряде случаев не подтверждается наблюдениями. Если принять такое объяснение, то в линиях D_2 и 3962 \AA центральное поглощение должно быть больше, чем в линиях D_1 и 3944 \AA , так как оптические толщи у первой линии вдвое больше, чем у последней. Наблюдения же показывают, что в большинстве случаев расщепляется именно D_1 , а не D_2 . Это подтверждается также на примере вспышки 12 июля 1961 г., которая наблюдалась на горизонтальном солнечном телескопе ГАО АН УССР. В спектрах одного узла этой

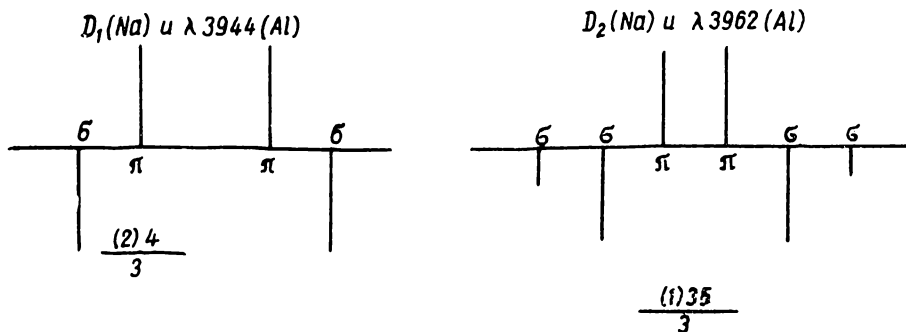


Рис. 2. Схема зеемановского расщепления дублетов Na и Al.

вспышки, который расположен над полутьню пятна, для всех моментов наблюдений линии D_1 и 3944 \AA были частично расщеплены (рис. 1), а в некоторые моменты заметно расщепление и в линиях D_2 и 3962 \AA . Расстояние между компонентами в D_1 и 3944 \AA больше (приблизительно вдвое), чем в двух других линиях этих дублетов. Подобная картина может возникать при наличии зеемановского расщепления в магнитном поле. Дело в том, что эти линии более чувствительны к магнитному полю и дают более заметное расщепление, которое списывается формулой

$$\Delta\nu (\mu_{j_1} g_1 - \mu_{j_2} g_2) \frac{\mu_0}{h} H,$$

где μ_{j_1}, μ_{j_2} — магнитные квантовые числа нижнего и верхнего уровней; g_1, g_2 — факторы Ландэ; μ_0 — магнетон Бора; H — напряженность магнитного поля.

Расчеты схемы расщепления линий выполнены для неполяризованного света. Мы воспользовались значениями факторов Ландэ, приведенными в монографии Э. С. Фриша [4]. Выполненные расчеты показали, что D_1 и 3944 \AA имеют расщепления $\frac{(2)4}{3}$, а D_2 и 3962 \AA — $\frac{(1)35}{3}$

(рис. 2). Согласно этой схеме расстояние между компонентами D_1 и 3944 \AA должно быть вдвое больше, чем для D_2 и 3962 \AA , как и наблюдается во вспышке 12.VII 1961 г. Таким образом, характер расщепления дублетов натрия и алюминия свидетельствует в пользу эффекта Зеемана.

Подтверждение этого предположения можно найти, рассмотрев триплеты магния (зеленый и ультрафиолетовый) для той же вспышки и вспышки 23 июня 1961 г. Некоторые контуры линий $\lambda\lambda 5184, 5175, 3838, 3832 \text{ \AA}$ имеют небольшой провал центральной интенсивности. Причиной этого может быть как поглощение в более холодном верхнем слое, так и эффект Зеемана в магнитном поле. Оба фактора сильнее сказываются на головных линиях триплетов ($5184, 3838 \text{ \AA}$). Наиболее

слабые линии ($5167, 3829 \text{ \AA}$) в меньшей степени подвержены как действию самопоглощения, так и действию магнитного поля. Поэтому сделать выбор в пользу того или другого механизма трудно. Однако некоторые косвенные соображения свидетельствуют о том, что и здесь мы имеем дело с магнитным расщеплением.

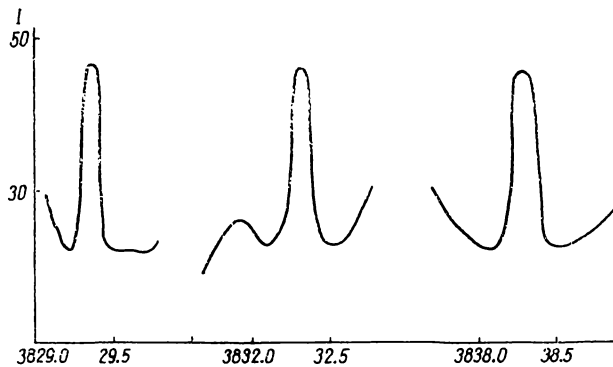


Рис. 3. Контуры линий Mg во вспышке 12. VII 1961 г.

Для линий Mg в обеих вспышках характерно то, что полуширины линий одного мультиплета неодинаковы. Так, наиболее широкой линией UV-триплета является $\lambda 3838$, а самой узкой — $\lambda 3829$ (рис. 3). Причиной этого может быть: 1) самопоглощение, которое уширяет контур в головных линиях больше, чем в самых слабых; 2) расширение под влиянием эффекта Зеемана. На рис. 4 даны типы расщепления рассмат-

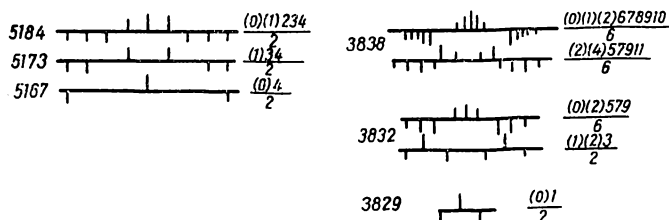


Рис. 4. Схема зеемановского расщепления триплетов Mg.

риваемых линий магния. Линии $\lambda 3829$ и $\lambda 5167 \text{ \AA}$ подвержены расщеплению мало (интенсивность σ -компонент мала по сравнению с π -компонентами). В то же время другие линии этих триплетов могут испытывать дополнительное расширение или даже частичное расщепление. Величина этого расширения составляет несколько сотых долей ангстрема в магнитном поле с напряженностью $H \geq 500 \text{ гс}$. Такого же порядка и разность полуширин линий триплетов Mg. В пользу эффекта Зеемана говорит то, что различие в полуширинах отмечается и тогда, когда оптические толщи оказываются слишком малыми ($\tau_{3838} = 0.60$, $\tau_{5184} = 0.40$), чтобы объяснить наблюдаемый факт самопоглощением.

Поскольку в случае магния картина расщепления более сложная, чем в линиях натрия и алюминия, а разрешающая сила нашего спектрографа недостаточна, то выявить тонкую структуру зеемановского эффекта невозможно. В этом отношении полезно было бы провести дополнительные исследования, используя инструменты с более высоким разрешением.

В работе [3] объяснение расщепления металлических линий во вспышках поглощением во внешней оболочке подтверждается расщеп-

лением также и линии нейтрального железа $\lambda 3746 \text{ \AA}$, которая не может иметь зеемановских компонент. Во вспышке 12 июля эта линия присутствует на многих спектрограммах, но ни в одном случае не наблюдается ее раздвоение.

На основании исследования линий Na, Al и Mg во вспышке 12 июля 1961 г. можно прийти к следующему выводу. Как показали вычисления, наблюдаемое в линиях расщепление требует поля напряженностью 4000—10 000 гс. Возможно, локальные магнитные поля такой напряженности и существуют в хромосфере Солнца. Сейчас в вопросе о величине и характере магнитных полей в хромосфере много неясного. Почти ничего не известно о полях во время вспышки. Единственная оценка поля непосредственно во вспышке получена по расширению линии D_1 [5]. Говард приводит значение H , равное 2500—3000 гс. Эти оценки поля близки к значениям, полученным выше.

В качестве причин появления таких больших полей в области вспышки можно указать следующие.

Поле пятен проникает в хромосферу и достигает той высоты, на которой происходят вспышки.

При условии вмороженности магнитного поля в плазму сжатие вещества вспышки в 100—1000 раз приведет к значительному усилению магнитного поля во вспышке.

На основании всего изложенного можно прийти к такому заключению: нельзя категорически отрицать эффект Зеемана или считать его единственно возможным механизмом расщепления металлических линий во вспышках. По-видимому, в различных вспышках может иметь место как поглощение в центре линий металлов, так и магнитное расщепление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blaha M., Kopecky M., Svestka Z. — ВАС, 13, 85, 1962.
2. Blaha M., Kopecky M., Svestka Z. — Nature, 187, 224, 1960.
3. Kopecky M., Letfus V., Blaha M., Svestka Z. — ВАС, 14, 146, 1963.
4. Фриш Э. С. Оптические спектры атомов. ГИФМЛ, М.—Л., 1963.
5. Howard R. — AAS—NASA Sympos. Phys. Sol. Flares, Greenbelt, Md. 1963, Washington, D. C., NASA, 89, 1964.

THE ZEEMAN EFFECT IN METALLIC LINES OF THE SOLAR FLARES

K. V. ALIKAYEVA

Summary

Line splitting in the metals Na, Al, Mg in the flare spectra may occur due to the Zeeman effect. The magnetic field strength that is capable of causing the observed splitting is equal to 4000—10 000 gauss.