

УДК 523.98

## Поля скоростей в активной области СД 135/84

В. И. Поляков, В. Е. Меркуленко

С помощью ИПФ в линиях  $H_{\alpha}$  и Ba II  $\lambda 455.4 \pm 0.005$  нм проводились наблюдения активной области СД 135/84. Поля скоростей, полученные по фильтрограммам в крыльях линии бария, сопоставлялись с хромосферными картами яркости. Возле одного из концов волокна, по разные стороны от его оси, наблюдались площадки с противоположными по знаку доплеровскими скоростями. Этот факт можно объяснить вращением волокна или направленным движением в петлях, расположенных перпендикулярно к волокну. Нулевые линии доплеровской скорости под волоконом располагаются произвольно. Разные системы волоконцев AFS принадлежат различным супергранулам.

*VELOCITY FIELDS IN THE SD 135/84 ACTIVE REGION, by Polyakov V. I., Merkulenko V. E.*— Observations of the SD 135/84 active region were performed with a birefringent filter in the  $H_{\alpha}$  and Ba II  $455.4 \pm 0.005$  nm lines. The velocity fields deduced from filtergrams taken in the wings of the barium line were compared with chromospheric brightness maps. The areas with Doppler velocities of the opposite sign were observed at one of the filament ends on different sides from its axis. That may be due to the filament rotation or directed motion in loops located normal to the filament. The zero lines of Doppler velocity below the filament are arranged in an arbitrary manner. It is shown that different AFS fibril systems belong to different supergranules.

Для представления более полной картины рождения активной области, ее развития необходимы исследования на разных уровнях атмосферы Солнца. Узкополосный бариевый фильтр позволяет расширить возможности наблюдений. Высота образования ядра линии Ba II  $\lambda 455.4$  нм — порядка 600 км над уровнем  $\tau_{500} = 1$  [4, 2]. Одновременные наблюдения в линии бария и линии  $H_{\alpha}$  с помощью ИПФ могут дать ценную информацию о таких образованиях, как системы арочных волокон (AFS), волокно и т. п.

В некоторых случаях AFS соединяли противоположные стороны ячеек хромосферной сетки [6, 12]. По другим наблюдениям, системы арочных волокон ориентированы вдоль границ хромосферной сетки [5]. Разногласие в данных происходит, возможно, из-за того, что в активной области трудно выделить хромосферную сетку, и на ранней стадии рождения активной области AFS располагаются на границе ячеек хромосферной сетки, а затем пересекают их [7]. Интересно сопоставить местоположение AFS с картиной поля скоростей.

Спектроскопическими наблюдениями установлено вращательное движение в протуберанцах [10]. Многочисленные примеры вращения в эруптивных протуберанцах приведены в [11]. По хромосферным наблюдениям линии  $H_{\beta}$  в волокне также отмечаются вращательные движения [3]. Фотосферные скорости в районе волокна подробно исследованы в работе [9]. Лучевые скорости не превышали 0.25 км/с. Нулевые линии  $V_{\parallel} = 0$  располагались в основном перпендикулярно к оси волокна. Средние лучевые скорости, измеренные в линии  $H_{\alpha}$  вблизи волокон, занижены по сравнению со спокойной атмосферой [8]. На уровне образования линии бария скорости в районе волокна не исследовались.

Наблюдения активной области СД 135 проводились на коронографе Саянской солнечной обсерватории с 23 по 28 июня 1984 г. Использовались ИПФ фирмы Халле для линии  $H_{\alpha}$  и узкополосный ИПФ для линии Ba II  $\lambda 455.4$  нм.  $H_{\alpha}$ -фильтрограммы регистрировались только в ядре линии. Съемка в линии бария проводилась сериями по контуру  $\Delta\lambda$  и соответствовала  $\pm 0.005$ ;  $\pm 0.0025$ ; 0 нм. Фильтрограммы в крыльях линии  $\pm 0.005$  нм затем использовались для определения поля лучевых

скоростей. Продолжительность экспозиции — 1/30 с. Минимальный промежуток времени между сериями — 1 мин. Для анализа выбраны серии с большими временными интервалами. Даты и моменты всемирного времени УТ, для которых проводилась обработка, представлены в таблице.

Для микрофотометрирования выбран участок АО размером  $112'' \times 175''$ , охватывающий группу пятен, флоккулы, АFS, волокно и область относительно спокойной атмосферы. Последняя размером  $105'' \times 21''$  использовалась как фон. Щель микрофотометра составляла  $3.5'' \times 3.5''$ . Таким образом, анализ проводился для матриц размером  $32 \times 50$ . Фотометрировались фильтрограммы в ядре линии  $H_{\alpha}$  и крыльях линии  $Ba II \lambda 455.4 \pm 0.005$  нм.

Обработка на ЭВМ заключалась в следующем. Вначале проводилась обычная процедура перевода оптических плотностей в интенсивности. Затем матрицы интенсивностей исправлялись за небольшой тренд, обусловленный различием коэффициента пропускания ИПФ по полю зрения в проти-

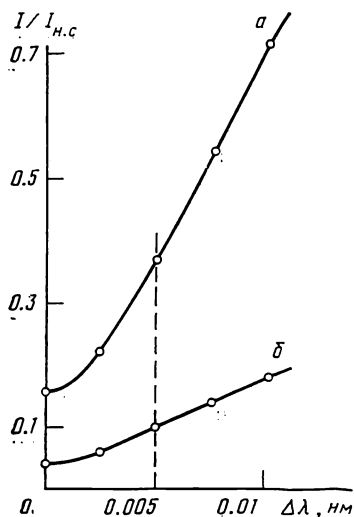


Рис. 1. Калибровочные кривые для спокойной атмосферы (а) и солнечного пятна (б). Штриховой линией отмечено положение полосы пропускания ИПФ

воположных крыльях линии. Для этого использовались фильтрограммы спокойной атмосферы в крыльях линии бария ( $\pm 0.005$  нм), полученные для центра диска. Распределение интенсивности на этих фильтрограммах нормировалось на среднее и представлялось в виде поверхностей второго порядка. После вычисления значений коэффициентов уравнений поверхностей в элементы матриц интенсивностей исследуемого участка активной области вводились поправки.

#### Даты и моменты наблюдений с помощью ИПФ в линиях $H_{\alpha}$ и $Ba II \lambda 455.4$ нм

Дата	$H_{\alpha}$	$Ba II$	Дата	$H_{\alpha}$	$Ba II$
23.06.84	$\sim 4^h 50^m$	—	26.06.84	—	$2^h 07^m$
24.06.84	$\sim 2 20$	$2^h 11^m$	26.06.84	$\sim 2^h 30^m$	2 26
24.06.84	—	3 26	26.06.84	$\sim 3 00$	2 50
24.06.84	—	3 46	26.06.84	—	3 21
24.06.84	—	4 16	26.06.84	—	3 38
24.06.84	—	5 30	27.06.84	—	1 42
25.06.84	$\sim 23 30$	23 34	27.06.84	—	2 07
26.06.84	—	0 03	27.06.84	$\sim 2 20$	2 35
26.06.84	—	0 10	27.06.84	—	2 52
26.06.84	—	0 24	27.06.84	—	3 56
26.06.84	—	1 44	28.06.84	—	1 54
26.06.84	$\sim 1 50$	1 49			

Исправленные матрицы использовались для вычисления полей яркости и скорости. Поле яркости определялось как полусумма двух матриц интенсивностей в противоположных крыльях линии. Для вычисления поля скорости использовались калибровочные кривые, представляющие собой эффективные контуры линии  $Ba II \lambda 455.4$  нм для спокойной атмосферы и солнечного пятна (рис. 1). Путем интерполяции между контурами, куда попадало значение интенсивности элемента матрицы

красного крыла, строился свой контур для этого элемента. Аналогично строился контур для соответствующего элемента матрицы синего крыла, причем каждый из контуров проходил через точку с ординатой, равной значению интенсивности элемента матрицы, и абсциссой  $\pm 0.005$  нм. По двум найденным контурам строился средний контур как их сумма. Разность  $\Delta\lambda$  между координатой  $\pm 0.005$  нм и координатой среднего контура определяла доплеровский сдвиг  $\Delta\lambda_k$  по расчетам в красном крыле. Аналогично определялся доплеровский сдвиг  $\Delta\lambda_c$  для синего крыла. Как правило,  $\Delta\lambda_k$  и  $\Delta\lambda_c$  принимали близкие значения, и доплеровская скорость определялась соотношением  $V_g = (\Delta\lambda_k + \Delta\lambda_c) c / 2\lambda$ , где  $c$  — скорость света. Шум измерения  $V_g$  составлял около 0.1 км/с.

Поля скоростей и яркостей в АО СД 135 рассчитывались для 24—28 июня. Карты яркости, построенные по бариевым фильтрограммам в крыльях линии  $\pm 0.005$  нм, представлены на рис. 2, а. Изофотами выделены группа пятен и поры. На картах доплеровской скорости (рис. 2, б) изолинии проведены через 0.1 км/с, начиная с 0.15 км/с.

В области пятен 24 июня наблюдались в основном скорости опускания с отдельными вкраплениями скоростей подъема в районе полутеней. Максимальные положительные скорости достигали 0.5—0.6 км/с, отрицательные — были в два раза меньше. В последующие дни области отрицательной скорости в пятнах занимали большую площадь, и значения противоположных по знаку скоростей сравнивались. Причем положительные скорости располагались со стороны, ближней к  $W$ -лимбу Солнца, а отрицательные — соответственно с дальней стороны. Это указывает на растекание газа из пятна, т. е. на уровне образования крыльев линии  $Ba II \lambda 455.4 \pm 0.005$  нм наблюдается обычный эффект Эвершеда. Следует подчеркнуть, что в полутенях пятен отмечается тонкая структура поля скоростей. Например, на картах за 26 и 27 июня четко выделяются небольшие холмы поля положительной и отрицательной  $V_g$ . Размеры холмов — порядка четырех дуговых секунд.

Доплеровские скорости в областях, над которыми располагались  $H_\alpha$ -флоккулы (рис. 3), имели преимущественно положительный знак. 24 июня скорости опускания газа принимали значения порядка 0.2—0.3 км/с. Под западным флоккулом 26 июня скорости опускания возросли до 0.6 км/с, а под восточным — знак доплеровской скорости стал отрицательным. Это прослеживалось и в последующие дни, но с меньшими значениями скоростей. Возможную причину перемены знака  $V_g$  рассмотрим ниже.

В областях фотосферы, расположенных под волокном, доплеровские скорости были значительно меньше, чем в пятнах и местах под флоккулами (менее 0.2 км/с). Размеры холмов скорости сравнимы с размерами элементов скорости в относительно спокойной атмосфере. Нулевые линии ( $V_g = 0$ ) за все время наблюдения волокна либо пересекали ось волокна, либо шли квазипараллельно ей, т. е. преимущественное направление линии  $V_g = 0$  выделить нельзя в отличие от распределения фотосферного поля скоростей под волокном, исследуемом в [9], которое представляло собой чередующиеся области подъема и опускания вещества с нулевыми линиями скорости, перпендикулярной к волокну. Следует отметить, что 25, 26 и 27 июня вблизи восточного конца волокна, по разные стороны от его оси, наблюдались области с противоположными по знаку скоростями ( $V_g \approx 0.2$  км/с). Это можно интерпретировать как проявление вращения волокна либо как направленные движения в петлях, пересекающих ось волокна под углом  $90^\circ$ .

Области опускания на картах скорости образуют ячеистую структуру, совпадающую с супергрануляционной сеткой. Регулярность структуры поля скорости нагляднее прослеживается по наблюдениям в фотосфере. В. М. Григорьев и В. Л. Селиванов по магнитографическим наблюдениям АО СД 135/84 в линии  $Fe I \lambda 525.0$  нм выделили ячейки опускающегося вещества [1]. Они показали, что области опускания уси-

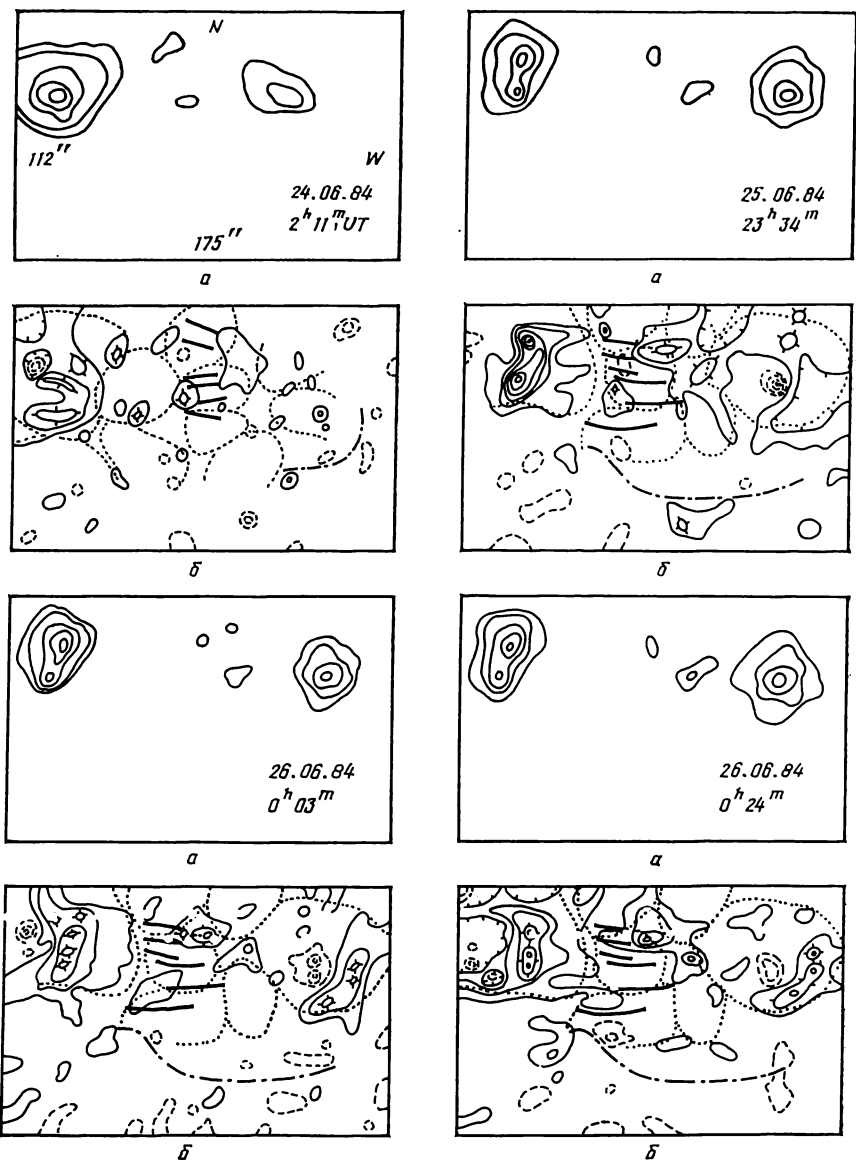
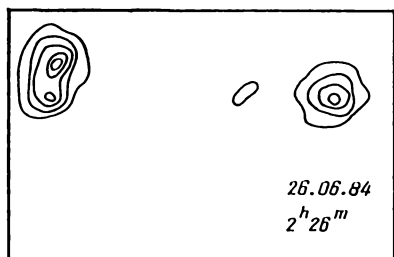


Рис. 2. Карты: а — поля скорости АО по Ва II  $\lambda 455.4 \pm 0.005$  нм, изофоты сплошные — изолинии положительной скорости, штриховые — изолинии отрицательного поля скоростей, по данным работы [1]

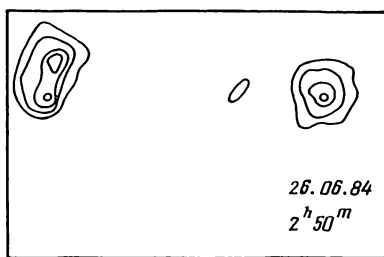
ливаются в магнитном поле. Более четко ячейки поля скорости проявляются при значении  $V_g$  более 0.3 км/с. Отдельные ячейки фотосферного поля скорости отмечены пунктирной линией на картах скорости, построенных для уровня образования крыльев линии Ва II  $\lambda 455.4 \pm \pm 0.005$  нм (рис. 2, б). Границы ячеек приходятся на холмы положительной доплеровской скорости от 0.15 до 0.6 км/с. В среднем значения  $V_g$  ниже, чем скорости, определенные по линии Fe I  $\lambda 525.0$  нм.

Итак, на уровне образования крыльев линии Ва II  $\lambda 455.4 \pm 0.005$  нм проявляется сетка поля скоростей, полностью совпадающая с фотосферной ячеистой структурой, но с меньшими скоростями движения вещества.

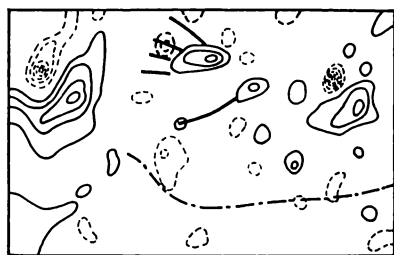
AFS на картах скорости выделены в соответствии с их расположением на  $H_\alpha$ -фильтрограммах (рис. 3). 24 июня арочные волокна замыкали факельные площадки, в которых наблюдалось опускание газа



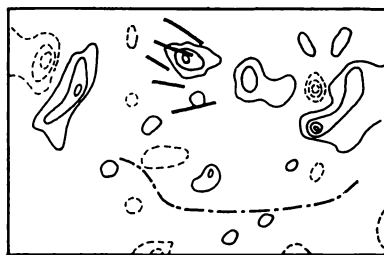
а



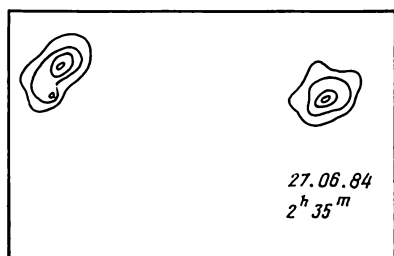
а



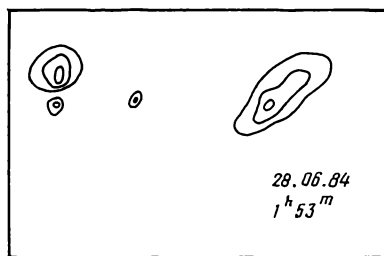
б



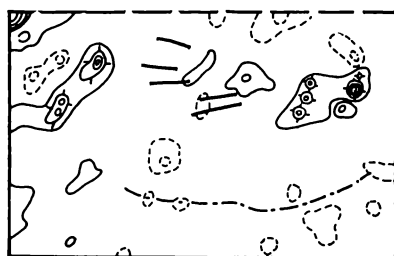
б



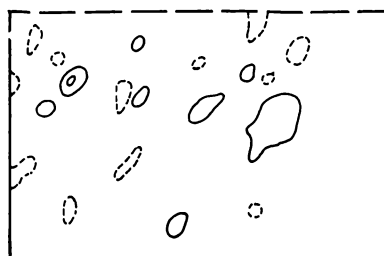
а



а



б



б

проведены через  $0.1 I/I_{\Phi}$ ; б — поля скорости АО. Линии: толстые — AFS, тонкие — цетальной скорости, штрихпунктирные — волокна, пунктирные — ячейки фото-

со скоростями в среднем  $0.25-0.3$  км/с. 25 июня западные концы AFS приходились на области опускания с  $V_g$ , достигающей  $0.5$  км/с, в то время как восточные концы арочных волокон располагались на участках со скоростями в два раза меньшими. За 26 июня построено 10 карт поля скоростей, что позволило проследить динамику скоростей в основании волокон. Следует отметить, что на участках восточных концов AFS скорости движения еще более уменьшились, а на западных — увеличились. Наибольшие скорости опускания наблюдались в  $0^h24^m$  и достигали  $0.67$  км/с. 26 и 27 июня на восточных концах арочных волокон положительная доплеровская скорость изменилась на отрицательную. Это можно объяснить расположением AFS на значительном долготном расстоянии ( $\lambda=42^\circ$ ) и, хотя движение вещества направлено от середины волокон к концам, проекция  $\vec{V}$  на луч зрения может оказаться с противоположным знаком.

При сопоставлении выделенных ячеек положительной доплеровской скорости с *AFS* (рис. 2, б) видно, что волоконца замыкают диаметрально противоположные стороны ячеек. При этом для разных ячеек имеются собственные системы *AFS*, в которых волоконца параллельны друг другу, а длина или направление отличаются от таких же параметров волоконец соседних систем.

**Основные результаты.** На уровне образования крыльев линии Ва II  $\lambda 455.4 \pm 0.005$  нм вблизи конца волокна наблюдаются площадки с

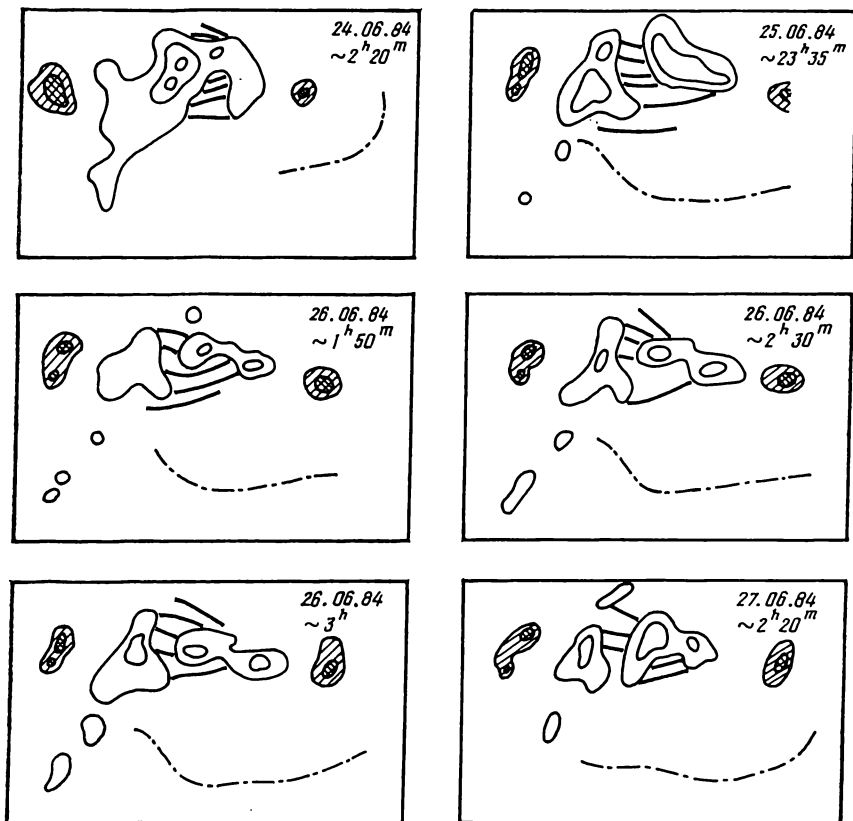


Рис. 3. Карты яркости АО по  $H_{\alpha}$ -фильтрограммам (пятна заштрихованы). Обозначения те же, что на рис. 2

противоположным знаком скорости, что можно объяснить либо вращением волокна, либо наличием стабильного движения вещества в петлях, направленных перпендикулярно к волокну.

Линии нулевой скорости под волокном не располагаются квазиперпендикулярно к его оси [9], а направлены произвольно, причем холмы скорости сравнимы с областями повышенной скорости в спокойной атмосфере.

Области положительной доплеровской скорости совпадают с фотосферной сеткой поля скоростей. Однако по величине скорости опускания меньше, чем по наблюдениям в линии Fe I  $\lambda 525.0$  нм.

Разные системы *AFS* принадлежат различным ячейкам поля скоростей.

1. Григорьев В. М., Селиванов В. Л. Структура и динамика конвективных движений в АО во время ее возникновения и развития // Астрон. циркуляр.— 1986.— № 1412.— С. 1—3.
2. Любимков Л. С. Глубина образования линий поглощения в звездных атмосферах // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1976.— 55.— С. 164—178.

3. Меркуленко В. Е., Паламарчук Л. Э., Поляков В. И. Синфазность колебаний хромосферы в пределах комплекса активности и динамические процессы в волокне во время вспышек 6 октября 1979 г. // Исслед. по геомагнетизму, аэронавтике и физике Солнца.—1983.— Вып. 65.— С. 172—190.
4. Шилова Н. С., Обридко В. Н. Магниточувствительная линия Ва II 4554 А // Солнеч. данные.—1966.— № 8.— С. 73—79.
5. Born R. First phase of active regions and their relation to the chromospheric network // Solar Phys.—1974.—38, N 1.— P. 127—131.
6. Bruzek A. Motions in arch filament systems // Ibid.—1969.—8, N 1.— P. 29—36.
7. Bruzek A., Schröter E. H. Structure and development of active regions // Solar Activ. 3rd Eur. Solar Meet. (Oxford, Apr. 13—15, 1981).—1982.— P. 51—70.
8. Kleczek J. A study of the development of active region on the Sun // Astrophys. J.—1964.—140, N 2.— P. 742—745.
9. Martres M.-J., Mein P., Schmieder B., Soru-Escant J. Structure and evolution of velocities in quiescent filaments // Solar Phys.—1981.—69, N 2.— P. 301—312.
10. Ohman G. Remark on rotational motions in flares and prominences // Ibid.—1972.—23, N 1.— P. 134—141.
11. Rompolt B. Rotational motion in fine solar structures.—Warszawa; Wrocław, 1975.—159 p.
12. Weart S. R., Zirin H. The birth of active regions // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1969.—81, N 480.— P. 270—273.

Сиб. ин-т зем. магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн, Иркутск

Поступила в редакцию  
16.09.85

## Научные конференции

### СИМПОЗИУМ МАС № 131 «ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ»

Симпозиум состоится в Мехико в августе 1987 г. Научная программа: 1. Наблюдения туманностей (фотометрия, картографирование, каталоги); 2. Свойства туманностей (температуры, плотности, строение, морфология, модели, расширение); 3. Центральные звезды (атмосферы, строение, звездные ветры); 4. Происхождение (звезды асимптотической ветви гигантов, ОН/ИК-объекты, звезды типа Миры, звездные ветры, образование планетарных туманностей); 5. Эволюция (строение звезд, ядерное горение, эволюционные треки, теоретическое и наблюдаемое распределение звезд на плоскости ( $\lg L$ ,  $\lg T$ ), развитие туманностей, двойные звезды, переменность); 6. Эволюция к белому карлику (развитие характеристик DA/DB, звезды sdO, скорости рождения).

### СИМПОЗИУМ МАС № 132 «ВЛИЯНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ С ОЧЕНЬ ВЫСОКИМ ОТНОШЕНИЕМ СИГНАЛ / ШУМ НА ФИЗИКУ ЗВЕЗД»

Симпозиум состоится в Париже в июне 1987 г. Научная программа: измерение эквивалентных ширин слабых линий для определения содержания элементов в звездах; Li, C, N, O; звезды O, B, типа T Тау, звезды Хербига (на стадии до главной последовательности); профили линий; методы спектроскопии.